

EXTRACCIÓN DE DESCRIPTORES EN IMÁGENES TERMOGRÁFICAS DE LAS
GLÁNDULAS MAMARIAS.

ARBEY ALEXIS PÁEZ ROA
BYRON GIOVANNY ANGARITA CASTELLANOS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.
BUCARAMANGA - 2008

EXTRACCIÓN DE DESCRIPTORES EN IMÁGENES TERMOGRÁFICAS DE LAS
GLÁNDULAS MAMARIAS.

ARBEY ALEXIS PÁEZ ROA
BYRON GIOVANNY ANGARITA CASTELLANOS

Este trabajo es presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

Director
MSc(c) LEANDRO FABIO ARIZA JIMÉNEZ

Codirector
OSCAR GUALDRÓN GONZÁLEZ, PhD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.
BUCARAMANGA – 2008

A Dios todopoderoso que ha sido mi refugio y fortaleza, por acompañarme en todos los momentos de mi vida, y por darme la fuerza de luchar para hacer realidad mis sueños.

A mi mamá, quien ha sido un apoyo fundamental en momentos de debilidad y desconcierto.

A mi papá, quien decidió marcar la diferencia y con su confianza y sacrificio me dio esta gran oportunidad de crecer intelectualmente.

A mi hermanita, por su confianza, paciencia y comprensión durante los momentos de dificultad que se han presentado durante mi preparación académica.

A los padres de mi compañero de travesía, por acogerme como un miembro más de su familia.

A mis amigos y demás familiares, por su apoyo incondicional y por compartir gratos momentos conmigo.

Y finalmente, a Byron, por su amistad, dedicación y paciencia para alcanzar con éxito esta meta.

Arbey Alexis Páez Roa

A DIOS, POR LA SALUD, LA ALEGRÍA Y LA VIDA QUE LES DA A TODAS LAS PERSONAS QUE QUIERO. Y TAMBIÉN, POR EL ENTENDIMIENTO Y POR HACERME SENTIR QUE SIEMPRE ESTOY BENDECIDO.

A MIS PADRES, A QUIÉNES QUIERO MUCHO, LES AGRADEZCO EL ESFUERZO DE BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE APRENDER MUCHAS COSAS, Y TAMBIÉN MI FORMACIÓN, QUE ME HA HECHO RESPONSABLE Y FELIZ.

A MIS HERMANOS ,SOBRINAS Y HERMANA, QUIÉNES CON SUS PALABRAS Y PRESENCIA ME HACEN SENTIR BIEN Y RESPALDADO EN TODO MOMENTO.

A MIS AMIGOS, APOYO DE MI BIENESTAR, QUE ESTUVIERON AHÍ SIEMPRE, BRINDÁNDOME COMPAÑÍA Y MUCHOS MOMENTOS DE RISAS.

A MI COMPAÑERO, ARBEY, QUIÉN DEDICÓ TODO SU EMPEÑO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, Y LOGRÓ QUE EL DESARROLLO DE ÉSTE FUERA EXITOSO.

A LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, PROFESORES Y COMPAÑEROS QUE ME AYUDARON A FORMAR MI MANERA DE PENSAR Y SER.

BYRON GIOVANNY ANGARITA CASTELLANOS

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto queremos dar las gracias a Dios por brindarnos la salud y la bendición de participar y lograr con éxito este proyecto.

A todos las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo, en especial a nuestro director y amigo Leandro Ariza, y codirector Oscar Gualdrón, así como a los especialistas en salud, Álvaro Niño y Luis Orozco, por su valiosa motivación y asesoría.

A los profesores Ana Beatriz Ramírez y Santiago Alférez, quienes con su consejo y evaluación hicieron una crítica constructiva respecto al trabajo realizado.

A nuestros amigos y familiares, que siempre estuvieron animándonos para salir adelante con nuestros propósitos a pesar de las dificultades que se presentan en el camino.

A los grupos de investigación CPS y ONCOPAT, a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones y a la Universidad Industrial de Santander.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	3
1.1 CARCINOMA DE GLÁNDULA MAMARIA Y SU MANIFESTACIÓN TÉRMICA	3
1.2 TERMOGRAFÍA INFRARROJA	4
1.2.1 Radiación infrarroja en el espectro electromagnético.	5
1.2.2 Radiación infrarroja en la medicina.	6
1.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES	8
1.3.1 Descriptores	9
2. SUB-DIVISIÓN DEL ÁREA DE INTERÉS COMPLETA DE LOS TERMOGRAMAS MAMARIOS TENIENDO EN CUENTA CRITERIOS FISIOLÓGICOS	17
2.1 IMÁGENES PARA PROCESAMIENTO	17
2.2 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LAS SUBDIVISIONES	20
2.3 SUB-DIVISIONES IMPLEMENTADAS	21
2.3.1 Sub-División de la vista frontal	22
2.3.2 Sub-División de las vistas oblicuas	23
2.3.3 Sub-División de las vistas laterales	25
2.3.4 Justificación de la sub-división propuesta	26

3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES ESTADÍSTICAS QUE DESCRIBEN LA DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN LOS TERMOGRAMAS	29
4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DESCRIPTORES DE FORMA QUE DESCRIBEN LA DISTRIBUCIÓN TÉRMICA PRESENTE EN LOS TERMOGRAMAS	34
5. RESULTADOS	41
6. CONCLUSIONES	48
7. RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	57

LISTA DE FIGURAS

		pág.
<i>Figura 1.1</i>	Espectro electromagnético.	6
<i>Figura 1.2</i>	Termograma típico obtenido a partir de la cámara termográfica FLUKE Ti-50.	8
<i>Figura 1.3</i>	Etapas de clasificación con procesamiento digital de imágenes.	9
<i>Figura 2.1</i>	Un registro completo de una paciente (incluye las 5 vistas establecidas).	18
<i>Figura 2.2</i>	Propuesta de cuadrantes en estudios anteriores.	21
<i>Figura 2.3</i>	División frontal según parámetros establecidos, mujer joven.	22
<i>Figura 2.4</i>	División frontal según parámetros establecidos, mujer adulta.	22
<i>Figura 2.5</i>	División oblicua derecha según parámetros establecidos, mujer joven (misma mujer de Fig. 2.1.).	23
<i>Figura 2.6</i>	División oblicua izquierda según parámetros establecidos, mujer mayor (diferente mujer de Fig. 2.2.).	24
<i>Figura 2.7</i>	División lateral derecha según parámetros establecidos, mujer joven (misma mujer de Fig. 2.1.).	25
<i>Figura 2.8</i>	División frontal según parámetros establecidos, mujer mayor (misma mujer de Fig. 2.4.).	25
<i>Figura 2.9</i>	Fisiología interna de la mama.	27
<i>Figura 2.10</i>	Porcentaje de desarrollo de tumores en senos.	28

<i>Figura 3.1</i>	Histogramas de máscaras de segmentación laterales.	32
<i>Figura 4.1</i>	Zonas de alta temperatura en una mujer joven.	36
<i>Figura 4.2</i>	Representación de esqueletización de las zonas calientes.	37
<i>Figura 4.3</i>	Variaciones de temperatura halladas en vista oblicua derecha de una mujer joven.	38
<i>Figura 4.4</i>	Zonas de alta variación de temperatura en una vista oblicua.	39
<i>Figura A.1</i>	Ilustración sencilla de la glándula mamaria.	57
<i>Figura A.2</i>	Segmentación inicial en vista frontal.	58
<i>Figura A.3</i>	Segmentación inicial en tomas oblicuas.	59
<i>Figura A.4</i>	Segmentación inicial en vistas laterales.	60
<i>Figura B.1</i>	Primera propuesta de división frontal incorrecta.	62
<i>Figura B.2</i>	Segunda propuesta de división frontal incorrecta.	63
<i>Figura B.3</i>	Primera propuesta de división oblicua incorrecta.	65
<i>Figura B.4</i>	Segunda propuesta de división incorrecta.	66
<i>Figura B.5</i>	Primera propuesta de división lateral incorrecta.	67
<i>Figura B.6</i>	Segunda propuesta de división lateral incorrecta.	68
<i>Figura D.1</i>	Registro frontal idóneo.	77
<i>Figura D.2</i>	Registros oblicuos bien tomados.	77
<i>Figura D.3</i>	Registros laterales.	78
<i>Figura D.4</i>	Registros oblicuos mal tomados.	79
<i>Figura E.1</i>	Ventana de inicio.	80
<i>Figura E.2</i>	Explorador de Computador.	81
<i>Figura E.3</i>	Visualización de los termogramas y sus segmentaciones iniciales.	82

<i>Figura E.4</i>	Creación de la máscara para segmentación inicial.	84
<i>Figura E.5</i>	Visualización del registro segmentado.	85
<i>Figura E.6</i>	Resultados de las divisiones.	86
<i>Figura E.7</i>	Opciones para escoger vista de análisis, región a describir y descriptores a aplicar.	87
<i>Figura E.8</i>	Descriptores de forma.	91
<i>Figura F.1</i>	Registro de una paciente (vistas en su orden: frontal, oblicua derecha e izquierda, lateral derecha e izquierda).	94
<i>Figura F.2</i>	Histograma de las regiones resaltadas en la vistas frontal (los colores sobre la imagen no indican temperatura).	96
<i>Figura F.3</i>	Histograma de las regiones resaltadas en las vistas oblicuas (los colores sobre la imagen no indican temperatura).	97
<i>Figura F.4</i>	Histograma de las regiones resaltadas en las vistas laterales (los colores sobre la imagen no indican temperatura).	98
<i>Figura F.5</i>	Termogramas de vistas laterales con sub-divisiones.	98
<i>Figura F.6</i>	Descriptores estadísticos hallados sobre las vistas laterales.	99
<i>Figura F.7</i>	Visualización presentada sobre zonas de alta variación de temperatura, zonas de de alta temperatura y aproximación de lugares de producción de calor en un registro (primer ejemplo).	102
<i>Figura F.8</i>	Representación etiquetada de áreas de la primera paciente.	106
<i>Figura F.9</i>	Información general de las zonas de altas variaciones de temperatura y zonas de altas temperaturas.	106
<i>Figura F.10</i>	Información general de las zonas de altas variaciones de temperatura y zonas de altas temperaturas de la primera paciente.	107
<i>Figura F.11</i>	Información estadística de la vista frontal de una mujer adulta.	107

<i>Figura F.12</i>	Histograma de las máscaras completas de vistas oblicuas de una mujer adulta.	109
<i>Figura F.13</i>	Histograma de las máscaras completas de vistas Laterales de una mujer adulta.	110
<i>Figura F.14</i>	Visualización presentada sobre zonas de alta variación de temperatura, zonas de de alta temperatura y aproximación de lugares de producción de calor en un registro (segundo ejemplo).	111
<i>Figura F.15</i>	Representación etiquetada de áreas de la segunda paciente.	114
<i>Figura F.16</i>	Información general de las zonas de altas variaciones de temperatura y zonas de altas temperaturas de la segunda paciente.	115
<i>Figura F.17</i>	Información de áreas individuales de la segunda paciente.	115
<i>Figura G.1</i>	Diagrama de la metodología desarrollada.	117
<i>Figura G.2</i>	Diagrama representativo del Algoritmo	118

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Evaluación del registro de cada vista.	42
Tabla 2.	Evaluación de la efectividad en el hallazgo de los pezones.	44
Tabla 3.	Evaluación del umbral dinámico.	47
Tabla 4.	Enumeración de regiones simétricas a comparar.	96

LISTA DE ANEXOS

	pág.
A. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGMENTACIÓN INICIAL	57
B. PROPUESTAS DE SUBDIVISIÓN INCOMPLETAS O INCORRECTAS	61
C. LOCALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE PUNTOS DE REFERENCIA SEGÚN INFORMACIÓN PRESENTADA EN LA TERMOGRAFÍA	70
D. RECOMENDACIONES SOBRE LOS REGISTROS TERMOGRÁFICOS	75
E. TUTORIAL SOBRE USO DE INTERFAZ GRÁFICA	80
F. MUESTRA DE DESCRIPTORES EXTRAÍDOS	94
G. DIAGRAMAS DE METODOLOGÍA Y FUNCIONAMIENTO DE ALGORITMO	117

RESÚMEN

TÍTULO: EXTRACCIÓN DE DESCRIPTORES EN IMÁGENES TERMOGRÁFICAS DE LAS GLÁNDULAS MAMARIAS*

AUTORES: ARBEY ALEXIS PÁEZ ROA
BYRON GIOVANNY ANGARITA CASTELLANOS**

PALABRAS CLAVES: Descriptores, cáncer de seno, termografía infrarroja, procesamiento digital de imágenes.

CONTENIDO: El objetivo de este trabajo es obtener una serie de variables que brinden características de la distribución de temperatura captada gracias a registros termográficos de las glándulas mamarias. La motivación para aplicar el procesamiento digital de imágenes para la extracción de los descriptores aquí mencionados nace de la necesidad de evaluar el uso de la termografía infrarroja como técnica auxiliar para la detección del carcinoma de glándula mamaria.

El registro a describir de cada paciente consta de 5 vistas, a las cuales se les aplica un proceso de segmentación manual, puesto que la automatización de este procedimiento no hace parte esencial de los objetivos del trabajo. Con los termogramas y sus respectivas segmentaciones, se procede a efectuar la subdivisión de cada región según parámetros establecidos gracias a asesoría médica, con el fin de mejorar el análisis de los resultados.

La extracción de descriptores se divide en dos partes fundamentales, la primera de ellas enfocada al análisis de la distribución de frecuencias de temperatura en cada una de las regiones subdivididas de cada termograma, basándose en la comparación de regiones análogas. Por otra parte, sobre cada termograma segmentado se realiza una umbralización para resaltar las zonas de alta temperatura, así como las que también presentan altos gradientes; sobre cada una de las regiones resaltadas son aplicados procedimientos que brindan características sobre la forma y bordes de cada una de ellas.

* Trabajo de grado.

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: MSc(c). Leandro Fabio Ariza Jiménez

ABSTRACT

TITLE: DESCRIPTOR EXTRACTION IN THERMOGRAPHIC IMAGES OF THE MAMMARY GLANDS*

AUTORS: ARBEY ALEXIS PÁEZ ROA
BYRON GIOVANNY ANGARITA CASTELLANOS**

KEY WORDS: Descriptors, Breast Cancer, infrared thermography, digital image processing.

CONTENT: the objective of this project is to obtain a series of variables that show features of the temperature distribution captured in thermographic images of the mammary glands. The motivation to apply the image digital processing to obtain the descriptors mentioned in this paper comes from the need to evaluate the use of infrared thermography as an auxiliary technique to detect the carcinoma of the breast.

The record to describe from each patient consists of 5 views to which a manual segmentation process is applied, due to the fact that the automation of this procedure is not an essential part of the objectives of this project. With the thermal image and its respective divisions obtained, the next step is to make subdivisions of every region according to parameters stated with medical consultancy, with the aim of making a better analysis of the results.

The extraction of descriptors is divided into two fundamental parts. The first approaches to the temperature frequency distribution analysis in every subdivided region in each thermal image based on analogous region comparison. On the other hand, on each segmented image, a threshold is applied to highlight the high temperature areas as well as the ones which show high gradients; over each one of the highlighted areas, procedures that characterize shape and edges are applied.

* Degree work

** Faculty of Physic-mechanic Engineering, School of Electrical, Electronic and Telecommunication Engineering. Director: MSc(c). Leandro Fabio Ariza Jiménez

INTRODUCCIÓN

La medicina y la ingeniería se unen con el propósito de brindar una mejor calidad de vida a las personas. Tal es el caso del procesamiento digital de imágenes, que pretende ser usado para evaluar la termografía como detector temprano del cáncer de seno en mujeres teniendo en cuenta los patrones térmicos de la piel cuando hay o no presencia del carcinoma.

El cáncer de seno se manifiesta térmicamente afectando de forma directa la temperatura de la piel que cubre la glándula mamaria. Por lo tanto, usar termografías para sensar la temperatura de la piel puede brindar información que sea útil para detectar el cáncer de seno. Por medio del procesamiento digital de imágenes se puede describir la información que expresan estas termografías, siendo esta descripción de alta importancia para evaluar dicho método de detección.

El presente trabajo es parte constitutiva de una investigación, financiada por COLCIENCIAS, que se realiza actualmente en la Universidad Industrial de Santander, titulado “Evaluación de la termografía infrarroja en la detección del carcinoma de glándula mamaria”. Como tal, este trabajo está orientado a la extracción de descriptores relacionados a la distribución térmica de la piel que cubre la glándula mamaria.

Para empezar, en el primer capítulo se hace una breve conceptualización en temas que son fundamentales para esta investigación, tales como: la termografía

infrarroja, el carcinoma de glándula mamaria y su manifestación térmica. Así como también del procesamiento digital de imágenes; con el propósito de facilitar la interpretación y comprensión del trabajo aquí presentado.

El proceso y los aspectos importantes para la consecución de las sub-divisiones aplicadas en cada perspectiva del registro termográfico, se tratan en el segundo capítulo. Tales sub-divisiones permiten facilitar el análisis y hacen más representativos los descriptores obtenidos. Además, es en esta sección de la investigación donde nace la gran mayoría de las recomendaciones respecto al protocolo de registro y las segmentaciones previas al procesamiento desarrollado en este trabajo.

Con las subdivisiones realizadas, se procede en el tercer capítulo a describir la distribución de temperatura de cada una de estas regiones usando las variables estadísticas que son consideradas representativas, según las características de la distribución que presenta cada región.

Luego, el cuarto capítulo explica los aspectos que se tienen en cuenta para resaltar las regiones que presentan altas temperaturas o grandes variaciones térmicas en niveles de alta temperatura, ya que estas características son posibles indicadores de anomalías térmicas.

Por último, en el capítulo correspondiente a los resultados se presenta una evaluación de la metodología aplicada sobre el algoritmo creado. La comprobación de los descriptores hallados requiere de un estudio especializado para hallar su representatividad en la detección del cáncer de seno, lo cual supera los alcances propuestos.

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1 CARCINOMA DE GLÁNDULA MAMARIA Y SU MANIFESTACIÓN TÉRMICA

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en un estudio realizado para el año 2005, el cáncer de seno contribuye con aproximadamente 502.000 muertes al año a nivel mundial [1]. Ahora bien, en Colombia la situación no es diferente, para el año 2000 la tasa de mortalidad entre mujeres debido a esta patología fue de 10.3 por cada 100.000 habitantes [2], y en 2002 las estadísticas concluyeron que esta enfermedad ataca a 1 de cada 10 mujeres, la mayoría, personas entre los 40 y 69 años [3].

La fundación Susan G. Komen [4], presenta una explicación a grandes rasgos sobre las características del carcinoma de glándula mamaria. En resumen, las células del cuerpo se reproducen y crecen en un proceso controlado, a la vez, las células nuevas reemplazan las antiguas en un proceso continuo. Cuando la reproducción y crecimiento de las células sale de control, ocurre lo que se conoce generalmente como cáncer. Estas células se reproducen más rápido de lo normal y se unen entre sí formando un tumor; sin embargo no todos los tumores están relacionados con el cáncer. El tumor maligno o tumor cancerígeno, tiene la particularidad que se dispersa afectando otras partes del cuerpo, en un proceso llamado metástasis.

Gracias a investigaciones realizadas por R. Lawson [5], en 1956 se descubre que el cáncer de seno provoca ciertas alteraciones en el comportamiento térmico de la piel más próxima al carcinoma. En efecto, el desarrollo del carcinoma de glándula mamaria provoca cambios en los flujos de sangre que pasan a través de los senos, concentrándose estos alrededor del tumor, lo cual genera que la temperatura local del sector se eleve a niveles superiores de lo normal [6]. Por consiguiente, se postula la hipótesis de que el cáncer de seno puede ser detectado gracias a un análisis basado en termografía infrarroja de las glándulas mamarias.

En [7], Sudharsan hace un informe más detallado de los comportamientos térmicos que son consecuencia de la presencia de un tumor en el seno y la relación de dichas características con las condiciones del tumor. Sudharsan cita una investigación realizada por Gautherie y Gros [8], en la cual indica que el carcinoma a pesar de su diminuto tamaño en sus comienzos presenta anomalías térmicas detectables. Así mismo, esta teoría concuerda con [9] y [6], que corresponden a investigaciones que indican que la termografía puede permitir la detección del carcinoma, hasta 8 a 10 años antes de que esta sea percibida por palpación o por mamografía.

1.2 TERMOGRAFÍA INFRARROJA

En resumen, la termografía infrarroja es una técnica de inspección basada en la detección de las radiaciones confinadas a la banda infrarroja del espectro electromagnético, las cuales son emitidas por cualquier cuerpo vivo. Con la radiación registrada se crea una imagen digital de temperaturas superficiales del cuerpo inspeccionado.

Entre las ventajas que caracterizan esta técnica se encuentran:

- La información de temperatura se mide sin necesidad de hacer contacto físico, es decir, no es invasiva.
- La temperatura de un cuerpo vivo es sensada sin necesidad de irradiar energía sobre éste y por lo tanto la técnica es inocua.

En lo que respecta a esta técnica, la inspección como tal de los cuerpos u objetos se realiza mediante un dispositivo de adquisición, convencionalmente llamado cámara termográfica, que cuenta con un sistema de adecuación de señales que plasman la radiación percibida, en un arreglo matricial de sensores, como datos de temperatura (teniendo en cuenta la frecuencia de onda emitida por el cuerpo para medir la temperatura). Para facilitar su análisis, estas matrices pueden emular una fotografía, donde cada dato de temperatura es manejado como un nivel de intensidad lumínica en un mapa de colores [12].

1.2.1 RADIACIÓN INFRARROJA EN EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Como se observa en la figura 1.1, la radiación infrarroja ocupa el rango desde los 300GHz (1mm) hasta los 400THz (750nm) aproximadamente. Todo cuerpo caliente emite este tipo de radiación, por lo cual es muy utilizada en la industria, astronomía, medicina, entre otras.

Este segmento del espectro puede ser dividido en cuatro regiones: onda corta (1.1 – 2.5 μ m), onda media (conocida como onda corta por los fabricantes de cámaras termográficas) (2.5 – 7.5 μ m), onda larga (7 - 15 μ m) y onda muy larga (> 15 μ m).

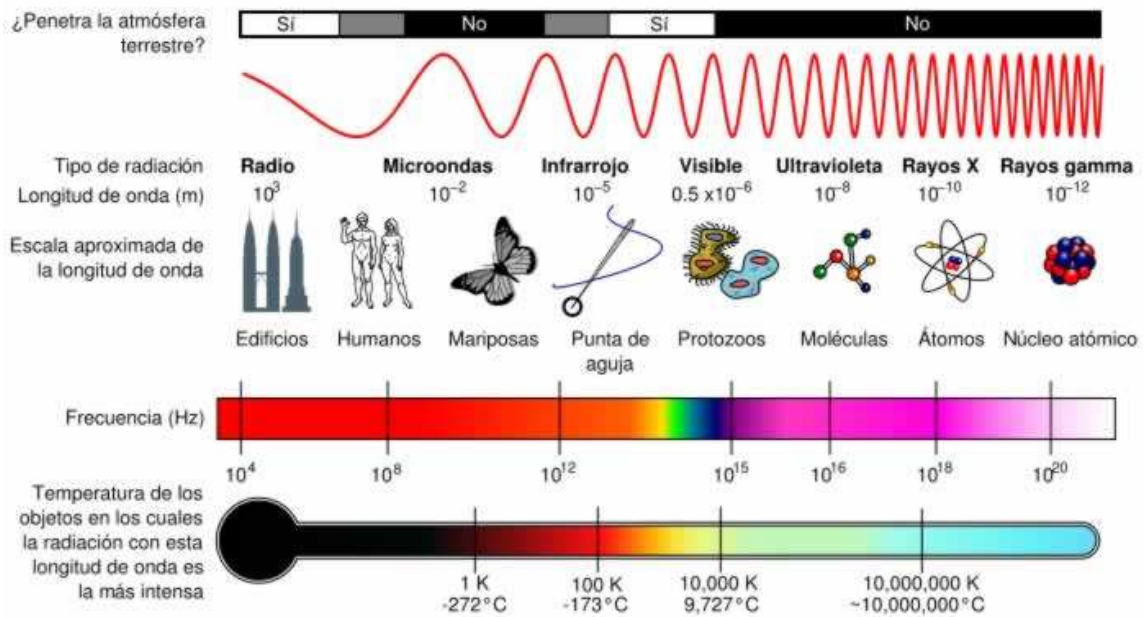


Figura 1.1. Espectro electromagnético

Fuente: www.espectrometría.com

1.2.2 RADIACION INFRARROJA EN LA MEDICINA

Debido a las características y comportamientos térmicos que se presentan en los humanos en diversas situaciones y condiciones de salud, la termografía infrarroja ha sido una técnica muy utilizada en el campo de la medicina para la realización de diagnósticos, intervenciones, tratamientos, terapias, entre otros.

Gracias al rápido avance en las tecnologías para adquisición y procesado de imágenes infrarrojas, hoy en día se tienen muchas aplicaciones de esta técnica en el área de la salud [50], entre las cuales se puede nombrar:

- Oncología (estudio de las neoplasias malignas y benignas, basado en quimioterapia, radioterapia y cirugía oncológica)
- Dolencias
- Desordenes vasculares (alteración de los vasos sanguíneos)

- Artritis/Reumatismo (trastornos articulares)
- Neurología (estudios y tratamientos sobre el sistema nervioso)
- Cirugía
- Oftálmico (estudios y tratamientos en los ojos)
- Viabilidad tisular (relacionado con el estudio de el funcionamiento y condición de los tejidos)
- Desordenes dermatológicos (alteraciones en los tejidos de la piel)
- Monitoreo de la eficacia de medicinas y tratamientos
- Tiroides (estudio de la glándula que produce hormonas)
- Odontología (estudio y tratamiento del aparato estomatognático)
- Respiratorio
- Medicina deportiva y de rehabilitación

Para estas aplicaciones se utilizan diferentes metodologías y pautas para la adquisición de los registros termográficos o termogramas, entre las cuales se cuentan: tomas estáticas, dinámicas, multiespectrales, entre otras.

Para el presente trabajo se utilizó una cámara termográfica FLUKE Ti-50 [10] de onda larga para adquirir los termogramas de las mujeres con una resolución de 320x240 pixeles. Un ejemplo de los termogramas que pueden obtenerse a partir de este dispositivo se muestra en la figura 1.2.

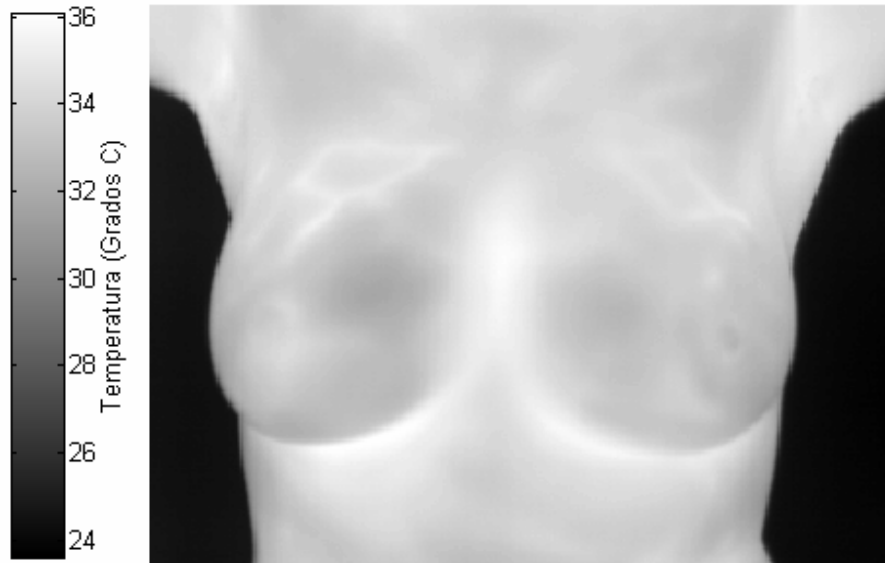


Figura 1.2. Termograma típico obtenido a partir de la cámara termográfica FLUKE Ti-50.

1.3 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

El conjunto de procesos y técnicas que son aplicados en imágenes digitales con el fin de obtener un mejoramiento visual, descripción de información contenida, identificación de objetos entre sí y otros; es conocido con el nombre de procesamiento digital de imágenes.

En términos generales, el procesamiento digital de imágenes se divide en tres etapas: pre-procesamiento y segmentación, descripción y representación, y reconocimiento e interpretación (Ver figura 1.3). En el presente caso, este trabajo se enfoca en la etapa de descripción y representación de la información obtenida a partir de imágenes térmicas. En particular, se calcularán un conjunto de variables o descriptores que brindan información acerca del comportamiento térmico de la piel que cubre la glándula mamaria.

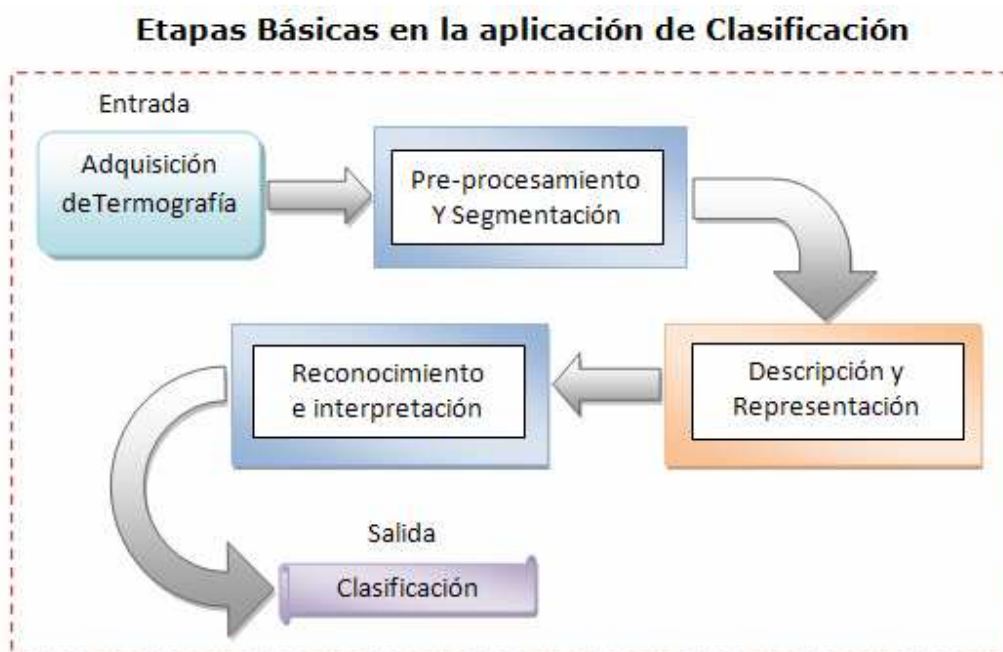


Figura 1.3 Etapas de clasificación con procesamiento digital de imágenes

1.3.1 DESCRIPTORES

Las imágenes digitales pueden ser descritas mediante variables que de forma numérica o visual indican ciertas características, parámetros y/o cualidades de las mismas. Tales variables se consideran descriptores. Convencionalmente, estas variables son utilizadas para describir cada región de la imagen, pudiendo ser los mismos para todas las regiones como diferentes para cada una, según el análisis a desarrollar.

En este trabajo los descriptores son extraídos con base en un análisis de la textura de la imagen a través de variables estadísticas, y teniendo en cuenta las formas de los segmentos resaltados en una imagen.

➤ Descriptores estadísticos.

Este conjunto de descriptores son usados cuando el interés del análisis se centra en las texturas, en la información de la superficie de la imagen o en ciertas figuras dentro de ellas. Así mismo, como su nombre lo indica son aquellos que usan variables estadísticas para indicar ciertas características sobre una imagen o región. Cabe aclarar que para este caso la muestra es considerada como un conjunto de píxeles ya sea de toda la imagen o de una región previamente segmentada y cada dato indica la temperatura superficial del punto visualizado. Más información sobre variables estadísticas en [23] y [24].

Algunas de estas variables se llaman *medidas de tendencia central* y entre ellas se encuentran:

- Media aritmética (MA): Brinda la información del promedio de los datos. Se calcula sumando cada uno de los datos (x_i) de una muestra o población y luego este resultado se divide sobre la cantidad total de datos (N).

$$MA = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (1)$$

- Mediana: Determina la medida central de los datos, es decir aproximadamente 50% de los datos está por encima de tal medida. Se encuentra ordenando la muestra en valores de forma creciente o decreciente, y el dato que se encuentra en la mitad del listado es la mediana, aunque si la muestra es discreta y par, la mediana es el promedio de los dos datos centrales.

- **Moda:** Es el dato que aparece con mayor frecuencia. Es decir, el valor que más se repite en una población o muestra determinada. Así mismo, existe también la posibilidad de tener distribuciones bimodales o con múltiples modas.

Por otra parte, existen otras medidas denominadas medidas de posición o percentiles. Estas medidas permiten hallar otros puntos de posición importantes dentro de la distribución de frecuencias de datos y no precisamente son valores centrales. Por lo general estos dividen el total de la población o muestra en tramos según sea el caso. A continuación se describen algunas:

- **Cuartiles:** Se denomina así al grupo de tres valores que dividen en cuatro partes iguales el total de la población cuyos datos se encuentran ordenados de menor a mayor. El primero de ellos indica que un 25% de la población se encuentra por debajo de ese nivel mientras el restante 75% por encima. El segundo cuartil corresponde a la mediana, y finalmente, el tercero es una versión invertida del primer cuartil.
- **Centiles:** Son el conjunto de 99 valores que dividen a la población 100 partes iguales de tamaño igual a 1%.

Igualmente, también existen las medidas de dispersión que permiten conocer la homogeneidad en los datos de una determinada población o muestra y que no están representadas por las variables estadísticas anteriormente mencionadas. Entre ellas se encuentran:

- **Rango:** Es la variable más sencilla de hallar ya que solo representa la diferencia entre los valores máximo y mínimo de una serie de datos.

$$Rango = \max(x_i) - \min(x_i) \quad (5)$$

- Desviación media absoluta: Esta variable mide la media aritmética de la distancia absoluta de cada uno de los datos de la población respecto a la media aritmética de dicha población.

$$DMA = \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - MA|}{N} \quad (6)$$

- Varianza: Esta variable se halla de una manera similar a la desviación media, con la diferencia que para evadir los signos no se utiliza el valor absoluto de las distancias sino el cuadrado de cada una de ellas.

$$Var = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^2}{N} \quad (7)$$

- Desviación estándar: es la raíz cuadrada de la varianza; este dato se usa para una mejor comprensión de la varianza ya que precisamente esta última está en forma cuadrática.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^2}{N}} \quad (8)$$

La desviación estándar es la variable estadística que se usa comúnmente para medir que tan dispersa está la distribución respecto a la media.

- Coeficiente de variabilidad o variación de Pearson: es el cociente entre la desviación estándar y la media, y es usado para realizar comparaciones entre datos con distintas unidades de medida pero hallados sobre la misma población.

$$CoefVar = \frac{\sigma}{MA} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MA - x_i)^2}{N}}}{MA} \quad (9)$$

Por último, están las medidas de forma, que permiten entender la forma de la distribución de los datos. Se crean a partir de los momentos centrados sobre la media. Por ejemplo, el coeficiente de asimetría utiliza el tercer momento, y la curtosis utiliza el cuarto momento. El k-ésimo momento centrado sobre la media está definido por:

$$\mu_k = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^k}{N} \quad (10)$$

- Coeficiente de Asimetría: Se refiere al tercer momento estándar, es un valor que permite decir que tan sesgada está la distribución de frecuencias de datos respecto a la media. Está definida por:

$$Coef_Asim = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^3}{N} \left/ \left(\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^2}{N} \right)^{3/2} \right. \quad (11)$$

Se puede ver que la diferencia de un valor respecto del promedio de los valores de los datos, se encuentra elevada al cubo. Esto tiene como resultado que, observaciones alejadas del promedio, aporten un gran valor a la suma; ya sea positivo o negativo. En consecuencia, si los valores grandes de la diferencia están producidos por datos mayores que el promedio, el coeficiente tenderá a ser positivo. Por el contrario, si predominan observaciones menores que el promedio, el coeficiente será negativo. Finalmente, si las observaciones presentan un alto grado de simetría respecto al promedio, el coeficiente asumirá valores cercanos a cero.

- Curtosis o coeficiente de curtosis: Se refiere al cuarto momento estándar y mide cuan “puntiaguda” (concentración en torno a la media aritmética) es una distribución. Una mayor curtosis implica que la mayor parte de la varianza es debida a dispersiones infrecuentes en los extremos, que se oponen a desviaciones comunes de medidas menos pronunciadas.

El coeficiente de curtosis está definido por:

$$Coef_Curt = \frac{\mu_4}{\sigma_4} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^4}{N} \bigg/ \left(\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - MA)^2}{N} \right)^2 \quad (12)$$

➤ Descriptores de forma

Éste es el conjunto de descriptores usados para otro tipo de análisis que se puede realizar sobre las regiones u objetos en una imagen y que se enfocan más sobre la morfología del contorno de estas, mas no de su textura interna.

Existen dos grupos principales dentro de este conjunto, los primeros permiten llevar la información del contorno de una región a una variable, por lo general numérica, la cual permite realizar fácilmente comparaciones con reducidas posibilidades de error entre las morfología de regiones similares; estos se conocen como descriptores representativos. El otro grupo, los descriptores de borde, permiten obtener características relacionadas con los contornos, y el área encerrada en ellos pero sin importar la información contenida en dicha área. Algunos de los descriptores son listados a continuación según el grupo al que pertenecen:

➤ Representación

- Esqueletización: éste descriptor expresa en forma visual y con líneas de un píxel de ancho, la posible estructura interna del objeto que se está

analizando, evitando en lo posible hacer cortes en dicha estructura como puede ocurrir al usar técnicas como el erosionado.

➤ Descriptores de borde

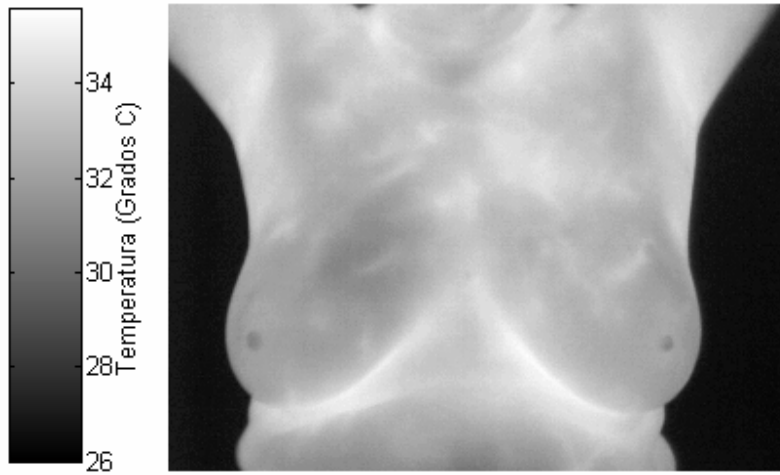
- Básicos: encierra el conjunto de variables que indican medidas geométricas como por ejemplo: el perímetro, el área, la distancia máxima entre bordes, la mínima distancia entre bordes que sea perpendicular a la máxima distancia, mínimo rectángulo que contiene a la región, diámetro equivalente (hallado si el área de la región estuviese contenida en un círculo), orientación, entre otros.

2 SUB-DIVISIÓN DEL ÁREA DE INTERÉS COMPLETA DE LOS TERMOGRAMAS MAMARIOS TENIENDO EN CUENTA CRITERIOS FISIOLÓGICOS

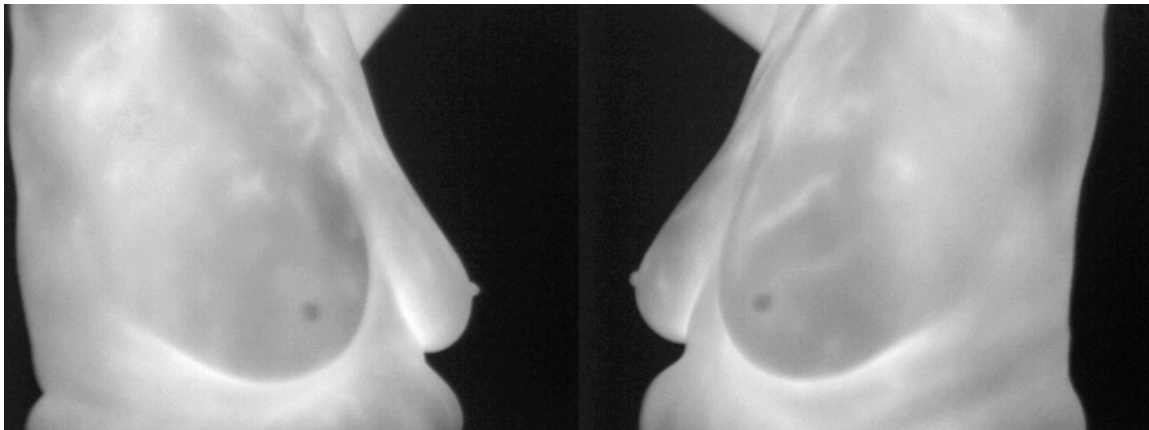
Es necesario lograr objetividad y precisión al describir los termogramas de glándulas mamarias, para esto es necesario realizar una subdivisión de la región de interés, que indique de la mejor forma la información contenida en ella. Se debe tener en cuenta: la piel que cubre la glándula mamaria y parte de los nodos linfáticos en los registros, la forma en que esta región es plasmada en cada termograma, como también los criterios fisiológicos (aspecto asesorado por especialistas de medicina); para implementar la subdivisión de los registros de entrada que contienen el área de interés segmentada previamente.

2.1 IMÁGENES PARA PROCESAMIENTO

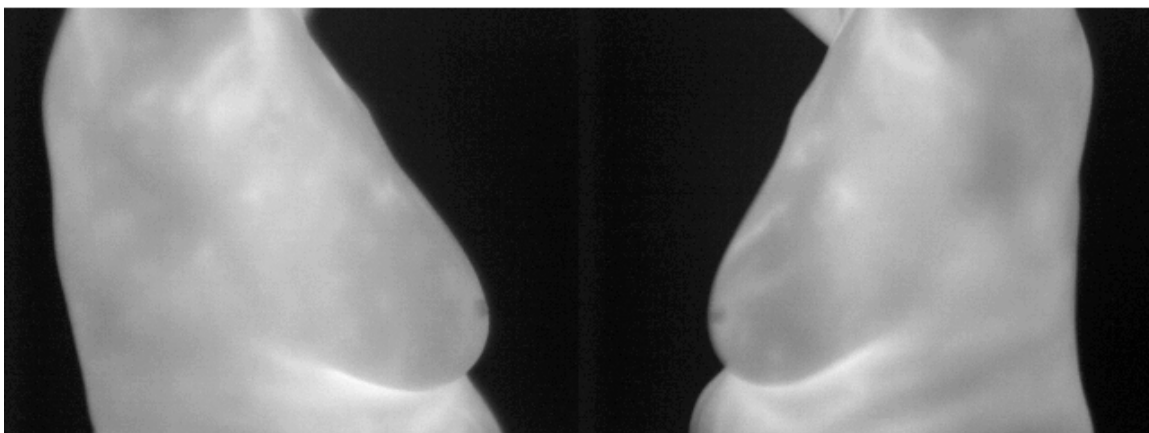
Con la termografía se pretende estudiar toda el área que cubra la glándula mamaria, para esto se efectúa un registro térmico que abarca cinco perspectivas: una vista frontal de los senos, dos vistas oblicuas derecha e izquierda (aproximadamente en 45 grados respecto a la vista frontal), y finalmente dos vistas laterales (con ángulo de 90 grados respecto a la perspectiva frontal) que cubren solo la parte del costado de cada seno respectivamente. Un conjunto ejemplar de estas perspectivas se exhiben en la figura 2.1.



a) Vista Frontal



b) Vistas Oblicuas



c) Vistas laterales

Figura 2.1. Un registro completo de una paciente (incluye las 5 vistas establecidas).

Para comenzar con la subdivisión, el termograma original de la mujer debe reducirse a sólo la región de interés de este trabajo. La región en cuestión corresponde a la piel que cubre la glándula mamaria y parte de los nodos linfáticos; estos últimos se incluyen debido a que se ha documentado su relación con el cáncer de seno [11]. Igualmente, esta segmentación inicial evita que características térmicas fuera de la glándula mamaria afecten los resultados que se obtengan con los descriptores que se calculen más adelante.

En el marco de este trabajo, la segmentación inicial se realiza de forma manual. Sin embargo, la segmentación de la región total de interés se realiza con base en la información aportada por la bibliografía revisada y la asesoría de miembros del grupo de investigación ONCOPAT¹ y principalmente por parte del Cirujano Álvaro Niño². Para más información sobre la segmentación inicial ver anexo A.

Ahora bien, la razón detrás de un registro de múltiples perspectivas es que a partir de él, pueda observarse toda la región correspondiente a la glándula mamaria a pesar de las formas irregulares que esta parte del cuerpo puede presentar entre las mujeres registradas. Por ejemplo, la región axilar de una paciente podría no observarse adecuadamente en una perspectiva frontal pero su visualización llega a mejorarse desde una vista oblicua o lateral.

Por otra parte, debe tenerse presente que el ángulo de incidencia de la radiación infrarroja puede afectar el proceso de registro térmico, como se explica en [12].

¹ ONCOPAT: Oncología y Patología de Santander, Grupo de Investigación. Universidad Industrial de Santander.

² Álvaro Niño es un reconocido Cirujano General (Cirujano de Mama y Tejido Blandos). Universidad Industrial de Santander; Hospital Universitario de Santander.

Por consiguiente, las temperaturas registradas y que hacen parte del contorno del cuerpo humano en un termograma podrían no ser tan confiables. Por esto mismo, la segmentación manual implementada desprecia estos bordes del área de interés y evita así el análisis descriptivo de estas regiones. Sin embargo, la información que se suprime puede ser considerada de forma confiable en otra perspectiva que se realice con un ángulo de observación diferente.

Finalmente, una vez segmentada de forma manual la región de interés en cada termograma y habiendo despreciado la información de los bordes en cada perspectiva, se procede a diseñar un algoritmo que subdivida cada uno de los cinco registros térmicos adquiridos.

2.2 CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LAS SUBDIVISIONES

En estudios anteriores como [13], [14] y [15], se propuso subdividir el área correspondiente a las glándulas mamarias en cuatro regiones o cuadrantes de un registro frontal para facilitar el análisis térmico, como se observa en la figura 2.2. Pero estas investigaciones no tienen presente que para el análisis también es importante contar con la región superior de la glándula mamaria (cerca a la clavícula), con parte del costado y la axila, tal y como indican [4] y [16]. Por consiguiente, se decidió crear una propuesta que tuviese en cuenta dichos aspectos. No obstante, la revisión bibliográfica evidenció que ningún planteamiento hasta ahora de subdivisión tuviese todos estos aspectos en cuenta. Por lo tanto, la división diseñada se basó en la asesoría del cirujano Álvaro Niño, quién afirmó también, que no hay estudio sobre termografía de glándulas mamarias que tuviese criterios fiables sobre la división de la piel que cubre la glándula mamaria. Así mismo, es con base en dicha asesoría y en la información recopilada durante la investigación que se ha construido la subdivisión propuesta en este trabajo.

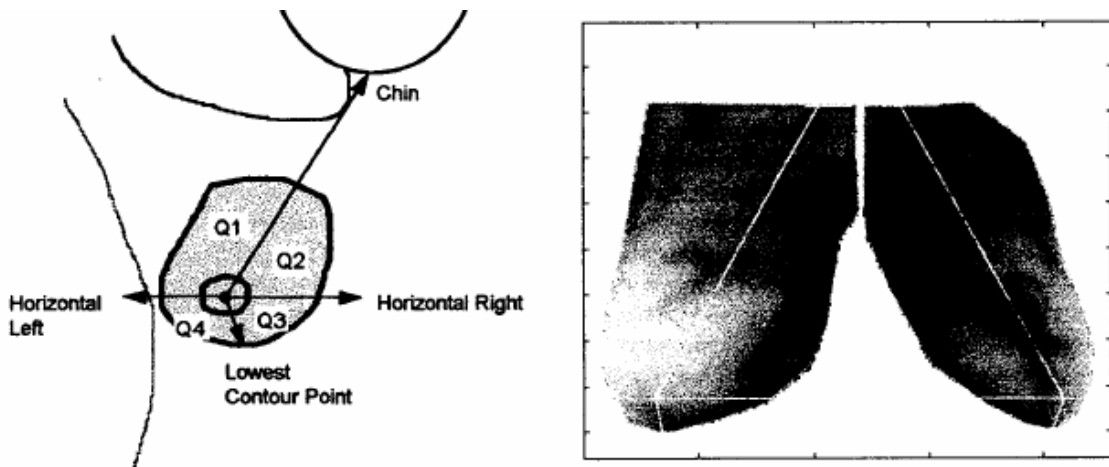


Figura 2.2. Propuesta de cuadrantes en estudios anteriores

Fuente: [13]

Cabe mencionar, que durante el desarrollo de este trabajo se crearon varias propuestas de división diferentes a la finalmente implementada tal y como se explica en el Anexo B.

2.3 SUD-DIVISIONES IMPLEMENTADAS

El proceso de división requirió buscar puntos de referencia fijos en cada uno de los cinco ángulos de observación registrados. Además, que estos pudieran ser identificados sin verse afectados por la variabilidad de la fisonomía en los senos de las mujeres bajo estudio.

Como tal, los puntos establecidos son: la mitad de la clavícula, los pezones y el extremo superior del esternón. Estos puntos de referencia se detectan automáticamente en los termogramas con varias excepciones debidas a las diferencias anatómicas y térmicas que presenta mujer, tal y como se expone en el Anexo C.

2.3.1 Sub-división de la vista frontal

En las figuras 2.3 y 2.4, se pueden apreciar dos registros frontales de mujeres diferentes en los cuales se aplicó la subdivisión frontal propuesta, cuyo proceso de obtención se explica a continuación:

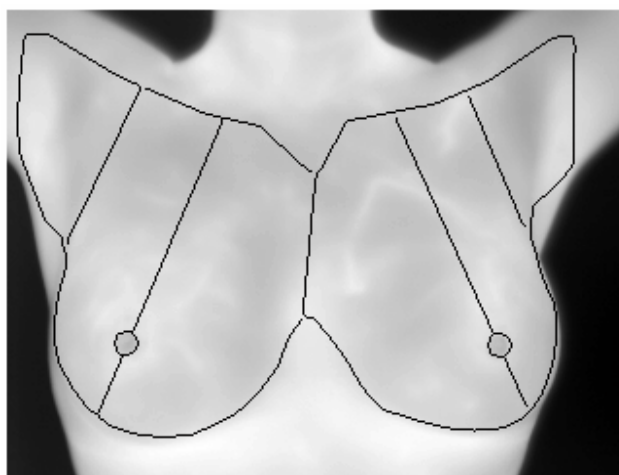


Figura 2.3. División frontal según parámetros establecidos, mujer joven.

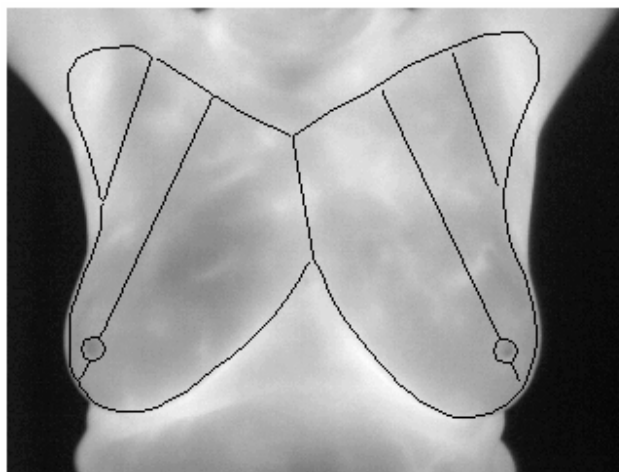


Figura 2.4. División frontal según parámetros establecidos, mujer adulta.

Para comenzar, se realiza una división de la imagen aproximadamente en mitades, teniendo en cuenta el extremo superior del esternón y el punto de la

unión de los senos, separando el pecho en dos partes. Ahora, en cada parte del pecho se realiza una división que diferencia el seno de la axila. Por consiguiente, se traza una línea que tiene como puntos: a) el extremo lateral de la segmentación inicial bajo la axila a una altura media entre la división de los senos y el punto medio esternón y b) hasta 1/8 de la longitud de la clavícula desde el hombro.

Luego se divide la región del seno cercano, con una línea recta que va desde el punto medio de la clavícula y pasa por el pezón hasta llegar al borde inferior del seno. Hay que anotar también que el pezón se segmenta en una región de forma circular.

2.3.2 Sub-división de las vistas oblicuas

Las subdivisiones de ambas vistas oblicuas (derecha e izquierda) se realizan con base en el mismo procedimiento.

En las figuras 2.5 y 2.6, se pueden apreciar las perspectivas oblicua derecha e izquierda divididas. Cada una de ellas fue dividida teniendo en cuenta los aspectos establecidos a continuación.

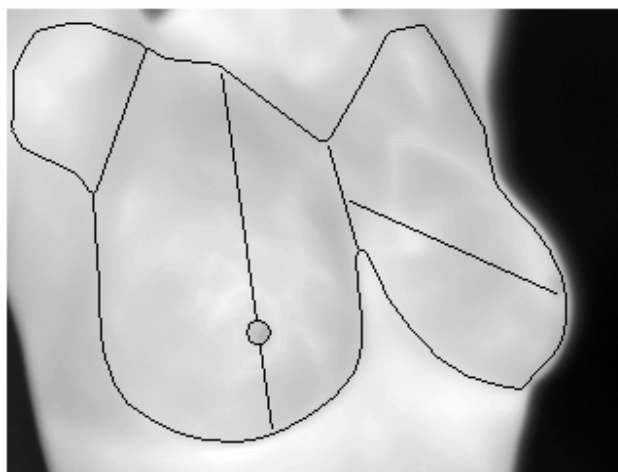


Figura 2.5. División oblicua derecha según parámetros establecidos, mujer joven (misma mujer de Fig. 2.1.).

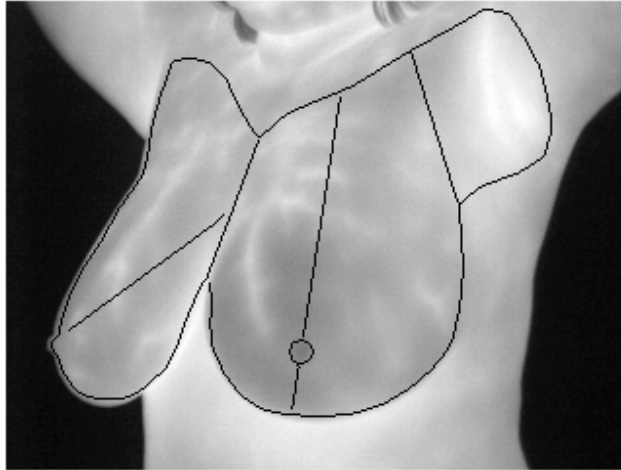


Figura 2.6. División oblicua izquierda según parámetros establecidos, mujer mayor (diferente mujer de Fig. 2.2.).

La vista oblicua, se divide al igual que la frontal en 2 partes, teniendo en cuenta el punto superior del esternón y el punto de unión de los senos. Obteniendo así, dos partes: el lado cercano (axila y seno más cercano a el punto de observación), y el seno lejano (de perfil y más retirado del punto de observación).

El proceso de división para la parte cercana es el mismo que para la toma frontal, tomando en cuenta de nuevo los mismos puntos de referencia. El seno lejano, se divide en dos partes con una línea que tiene como puntos la mitad de altura entre el extremo superior del esternón y la unión de los senos, y el punto del pezón del seno lejano. Acá de nuevo se segmenta la región del pezón del seno cercano con una circunferencia.

2.3.3 Sub-división de la vistas laterales

Al igual que en el proceso de las perspectivas oblicuas, hay un solo proceso de división lateral. Cabe aclarar que en cada toma lateral sólo se debe observar la axila y un seno de perfil.

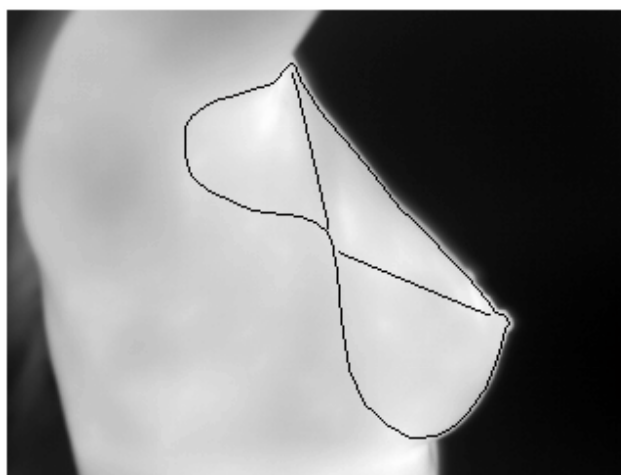


Figura 2.7. División lateral derecha Según parámetros establecidos, mujer joven (misma mujer de Fig. 2.1.).

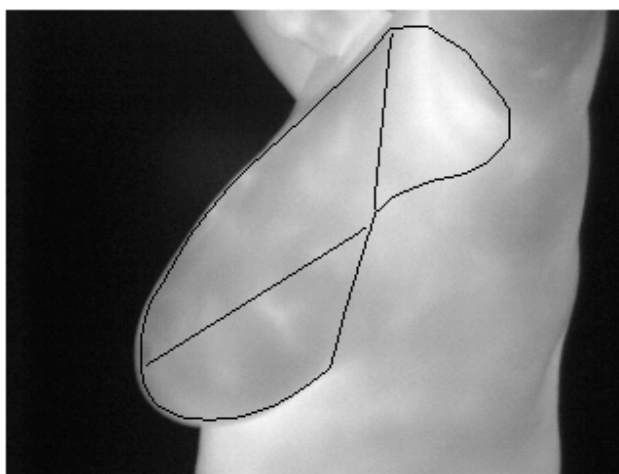


Figura 2.8. División frontal según parámetros establecidos, mujer mayor (misma mujer de Fig. 2.4.).

En las figuras 2.7 y 2.8 se muestran una perspectiva lateral derecha de una mujer joven y una izquierda de una mujer adulta, que ya han sido divididas.

Dentro del proceso implementado se realiza primero una división entre axila y seno tomando dos puntos de referencia: a) el punto que une la parte inferior de la axila y el seno y b) la parte superior frontal de la fosa axilar. Luego, al tener la axila separada de la mama, éste se divide con el punto a) de la división anterior y el pezón, dividiendo así el seno en 2 regiones, una superior y otra inferior del seno. De esta forma la división es similar a la del seno lejano de la toma oblicua.

2.3.4 Justificación de la sub-división propuesta.

La vista frontal se caracteriza por aportar unos datos más generales sobre la distribución de temperatura de los senos, como también sobre la región del pezón. No obstante, con un análisis de la perspectiva frontal es difícil explicar las características de las regiones laterales de los senos, así como la región de la axila, pues sólo se ve una parte de esas regiones. Por estos motivos, no se plantea divisiones horizontales sobre el seno visto desde esta perspectiva, sino solo una que diferencia entre zona medial y lateral del seno.

En este trabajo, la región del pezón se considera importante porque es la manifestación de la glándula mamaria en la superficie, como se observa en la figura 2.9. El pezón, al igual que la glándula mamaria, presenta alta conductividad térmica [17]. Así que si hay una alta temperatura en el interior de la glándula mamaria, es posible que esta se manifieste a través de ella y evidencie la anomalía.



Figura 2.9. Fisiología interna de la mama

Fuente: www.astrored.org

En cierta medida, el seno más cercano al punto de observación de una vista oblicua es muy similar a la perspectiva que se tiene del mismo seno desde la vista frontal. Por esto mismo, es conveniente aplicar la misma división en ambos casos.

Ahora bien, las tomas laterales son más adecuadas para estudiar la distribución térmica de la axila y la región externa (lateral) del seno, porque es la que brinda más información sobre tales zonas.

Por último, cabe mencionar que no toda la región de la glándula mamaria es igualmente vulnerable a desarrollar la patología, por ejemplo el cuadrante superior externo de cada seno es la zona más propensa a desarrollar el carcinoma, tal como se afirma en [18] y se ilustra en la figura 2.10.

Donde aparecen los tumores?

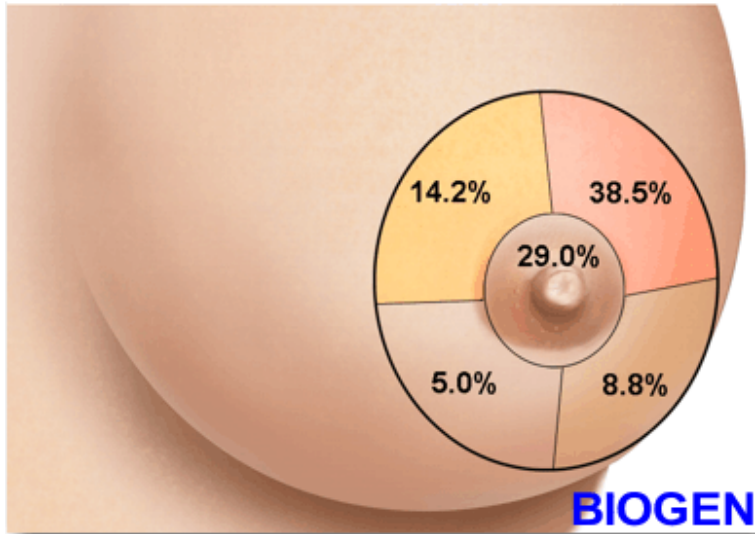


Figura 2.10 Porcentaje de desarrollo de tumores en senos

Fuente: http://www.amese.net/img_contenidos/cancer/aparecen.gif

3 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES ESTADÍSTICAS QUE DESCRIBEN LA DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN LOS TERMOGRAMAS

Una vez realizadas las subdivisiones de la piel que cubre la glándula mamaria se procede a describir por regiones la distribución de frecuencia de temperatura sobre el termograma, este proceso se realiza por medio de variables estadísticas.

Cada región, tiene un área análoga al otro lado del cuerpo, por lo tanto comparar la información estadística de cada región con su análoga al otro lado, puede brindar información valiosa que sirva para la detección de anomalías térmicas. La práctica de recurrir a la comparación simétrica entre los senos como un detector primario del cáncer viene de la baja probabilidad que existe de encontrar tumores en ambos senos al mismo tiempo tal y como expone en [19]. De esta forma, se desarrolla un estudio por pares comparativos de las regiones previamente subdivididas.

En las descripciones, hay que considerar que cada mujer presenta su propio patrón de distribución de temperatura, como también un valor máximo y mínimo de la misma. Así mismo, este patrón puede generar muchas confusiones a la hora de analizar los termogramas, y por esto mismo un médico o especialista no se debe apresurar a dictar resultados según su criterio, al tener estos descriptores estadísticos. Ya para especificar si una variable estadística es generalmente un indicador de alto riesgo, se necesita de un estudio sobre una abundante muestra de mujeres para determinarlo. Las variables asociadas a las clases de

descriptores estadísticos explicados en la sección 1.3.1 se tienen en cuenta, con el fin de describir de la mejor forma la distribución de temperaturas.

Los descriptores extraídos en este capítulo son: media aritmética (media), mediana, máximo, rango, desviación estándar, coeficiente de asimetría y curtosis, cada una de ellos brinda información que revela información de la distribución de temperatura de cada región. En efecto, los descriptores planteados aquí se utilizan tomando como precedente los trabajos realizados por [17], [15], [20], [14], en el tema de detección de cáncer mediante termografía infrarroja.

Además, en este capítulo se presentan algunos casos representativos que ilustran la utilidad de algunos de estos descriptores. La validación de estos como determinantes para la detección del cáncer, ha de llevarse a cabo mediante un proceso de clasificación basado en inteligencia computacional. No obstante, tal proceso no está contemplado en los objetivos propuestos aquí, pero ha de efectuarse posteriormente en el marco de la investigación que contiene este trabajo.

En [15] y [20], la media aritmética en termografías de glándulas mamarias se considera como la variable más importante para detectar anomalías térmicas, en ellos se afirma que una diferencia de 0.5 °C de un seno respecto al otro es un indicador de alto riesgo. Además, [15] indica que si existe más de un grado Celsius de diferencia entre una región del seno³ y la región simétrica del otro seno, también es un indicador de alto riesgo.

Suponiendo que, una mujer en estudio tiene una naturaleza térmica baja (distribución térmica sesgada a la derecha), y en una región de la piel que cubre la glándula mamaria se encuentra una pequeña concentración de temperatura más caliente de lo normal en ella, esta información puede indicar una anomalía térmica de alto riesgo. La mediana hallada en esta región será muy parecida a la hallada en la región opuesta, porque la mayoría de los datos están sesgados a baja

³ En el estudio solo se tenían en cuenta regiones formadas por los cuadrantes de cada seno

temperatura en ambas distribuciones, pero la media en este caso aumentará más con la pequeña área de alta temperatura brindando una mejor medida para detectar cambios en la distribución que la mediana. Aunque la mediana da el dato de temperatura que indica la mitad de los píxeles dentro de una región, lo que resulta en una mejor medida central que la media en el caso anterior.

El coeficiente de asimetría de la distribución de temperaturas, puede servir para identificar casos como el anterior. Éste indica que tan sesgada y hacia qué lugar prevalece la distribución. Por ejemplo, el valor del coeficiente de asimetría para el caso anterior es positivo y probablemente alto, según el grado de sesgo que tenga.

En [15], los autores se basan en la media para hacer sus clasificaciones, despreciando las demás variables estadísticas como descriptores de la termografía. Sin embargo, es importante tener en cuenta más variables y no solo la media aritmética para describir la distribución térmica de cada región, pues en realidad, una región del termograma es una muestra llena de información en la que solo una medida de posición central brinda un dato relevante, pero pueden existir más parámetros que sean representativas.

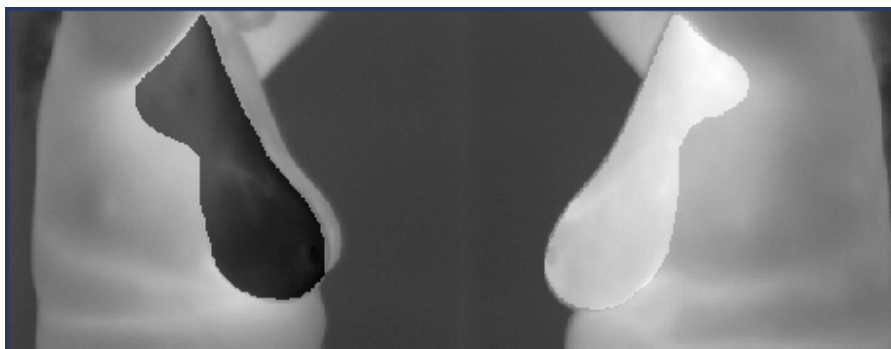
El valor más alto de temperatura o máximo es importante como indicador de riesgo, porque alrededor del tumor se crea bastante vascularización⁴. Por consiguiente, la temperatura en esa región aumenta, y al compararla con su análoga, una tiene un máximo notablemente alto respecto a la opuesta simétricamente, entonces ese valor indica una anomalía térmica.

Una vez calculado el máximo, también es importante obtener el rango, para hallar indirectamente el mínimo valor de temperatura. De esta forma, si el máximo es igual para dos regiones análogas a cada lado del seno, pero el rango se muestra más grande en un lado a comparación del otro, entonces la piel tiene en alguna

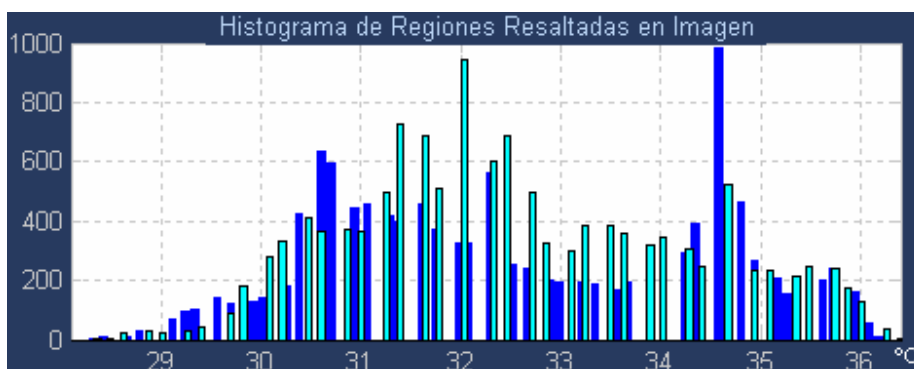
⁴ Vascularización: Conjunto y riego de los pequeños vasos sanguíneos y linfáticos en un tejido, órgano o región del organismo

parte algo que no permite una buena emisión de calor o que dentro de la muestra se están agregando puntos que colindan con el fondo o los bordes y que pueden llegar a distorsionar el análisis y los resultados.

La moda es una cantidad que se caracteriza por presentar una alta variabilidad dependiendo del patrón térmico propio de cada mujer. Por ende, esta variable no se tiene en cuenta en este estudio dado que muchas de las muestras son multimodales, y estas modas se ubican en cualquier nivel de temperatura, sea en la parte fría o la caliente. Tal como se muestra en el doble histograma de la figura 3.1 (histogramas de dos regiones laterales resaltadas con gris oscuro la derecha y con gris claro la izquierda).



a) Regiones resaltadas en vistas laterales.



b) Doble histograma de las regiones laterales.

Figura 3.1. Histogramas de máscaras de segmentación laterales.

El histograma de color claro (de la región resaltada en gris claro) es multimodal, al igual que el histograma de color oscuro. Hay que notar que la moda más alta para cada caso se presenta en niveles de temperatura diferentes.

La desviación estándar es el descriptor utilizado como medida de dispersión. Éste informa que tanto se expande la distribución de frecuencias de temperaturas. Dato que puede ser útil para detectar información inusual lejos de la media, como pequeñas concentraciones de alta temperatura, ya que estos valores aumentan la medida de dispersión de los datos.

El coeficiente de variabilidad no es usado en este trabajo, porque esta variable estadística es usada principalmente para comparar dos muestras obtenidas con una escala de medición diferente. Además de que la desviación estándar provee la información necesaria para identificar la dispersión.

La curtosis sirve para indicar la forma de la distribución de frecuencias de temperatura, indicando con un valor de 3 que es una distribución normal. Así, un valor cercano supone que los datos de desviación estándar y media son confiables.

Todas las mujeres presentan un tejido mamario diferentes, por consiguiente el patrón térmico puede cambiar sustancialmente y se deben reconocer qué variables son más importantes que otras en cada caso.

4 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS DESCRIPTORES DE FORMA QUE DESCRIBEN LA DISTRIBUCIÓN TÉRMICA EN LOS TERMOGRAMAS

La descripción de frecuencias de temperatura ya fue abordada por los descriptores estadísticos, los cuales dan medidas generales sobre una región sub-dividida, información que se usa para comparar zonas simétricas. En otro aspecto, es necesario dar una descripción de la distribución de posición de la temperatura en la piel que cubre la glándula mamaria, identificando así zonas calientes en la piel, las cuales provienen de la vascularización. A tales zonas resulta útil describir aspectos importantes de su forma, para tratar de identificar que representa esa vascularización en la glándula mamaria.

Hay información en [17], que dice que los puntos calientes pueden presentar un indicador de riesgo para el cáncer de seno, y que estos tienen la cualidad de presentarse en la piel con alta circularidad, de tamaño pequeño y con altas variaciones de temperatura respecto a su alrededor. En este trabajo, se deja esta clasificación de puntos calientes para un estudio posterior porque afirmar que una zona de alta temperatura que cumpla esas cualidades sea un punto caliente se sale del conocimiento de los autores. Sin embargo, se brinda la información para que se puedan clasificar según intervención médica.

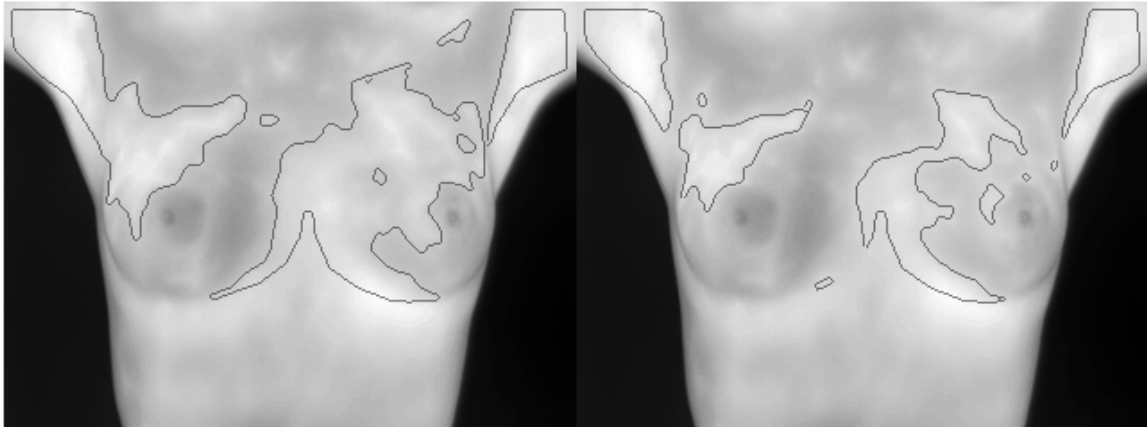
Las zonas calientes relativas a la mujer se calculan sobre toda la vista segmentada inicialmente, acá, no son usadas las sub-divisiones, ya que un área

caliente puede estar en dos regiones al mismo tiempo. Hay que anotar también, que el proceso es realizado de igual manera para cada vista.

Para hallar las zonas de alta temperatura relativa en un termograma de glándula mamaria, se necesita de un umbral que identifique desde que temperatura se puede ubicar la vascularización en la piel que cubre la glándula mamaria. Para esto, se implementó el umbral manualmente de forma que encerrara las vascularizaciones más pronunciadas en la piel. Datos con los cuáles se halló un umbral automático, teniendo en cuenta el histograma de la máscara de segmentación inicial, el percentil 81, el coeficiente de asimetría, la curtosis, la mediana y la media. Este umbral automático falla en algunos casos debido a que es sólo una aproximación matemática sobre los termogramas de algunas pacientes. La posibilidad de un umbral manual queda abierta, para que en un estudio posterior se apliquen las variables estadísticas en la parametrización de dicho proceso.

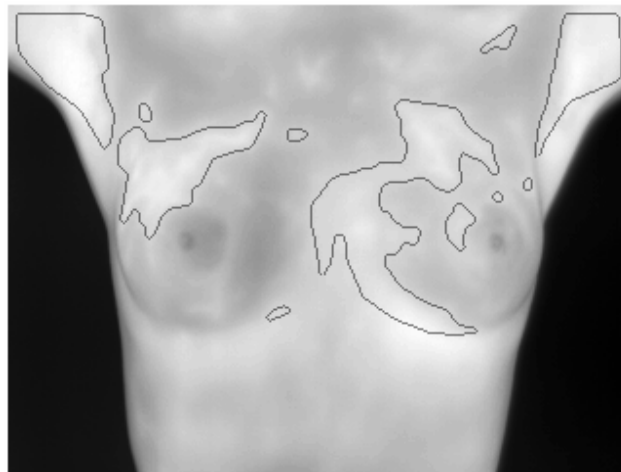
El umbral encierra todas las zonas de alta temperatura, aunque en algunos casos el área encerrada es muy grande porque hay varios vasos en una misma región. Para tratar de encerrar áreas más pequeñas que identifiquen de mejor forma los vasos, se aplica un segundo umbral que es un poco más grande que el anterior.

Se hallan así, dos gráficas de zonas de alta temperatura, y la resultante cambia las regiones más grandes obtenidas con el primer umbral por las áreas pequeñas contenidas en ellas con el segundo umbral como se muestra en la figura 4.1. Se ilustra en la parte a) las zonas calientes obtenidas con el primer umbral, b) las zonas calientes obtenidas con el segundo umbral, que es más alto que el primero, c) el resultado de a) menos las áreas grandes de a) cambiadas por las áreas de b) en esa misma región.



a) Primer Umbral

b) Segundo Umbral



c) Zonas Calientes Resultantes.

Figura 4.1. Zonas de alta temperatura en una mujer joven.

A cada zona se le halla la descripción de esqueletización, la cual intenta brindar una ilustración del conducto vascular que produce el calor, imagen que puede ser representativa visualmente. En la figura 4.2 se puede ver la representación de esqueletización de las zonas calientes resultantes.

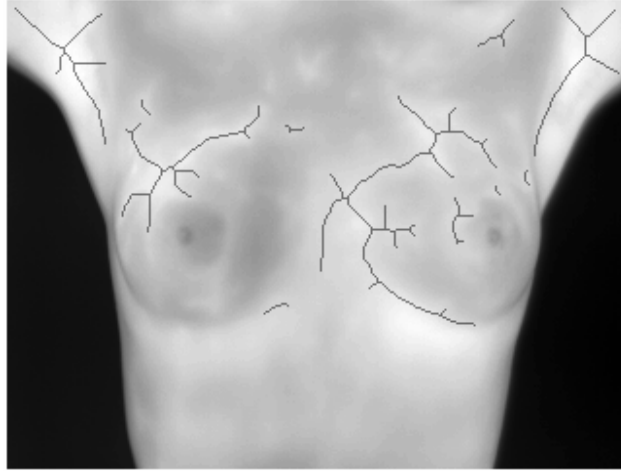


Figura 4.2. Representación de esqueletización de las zonas calientes.

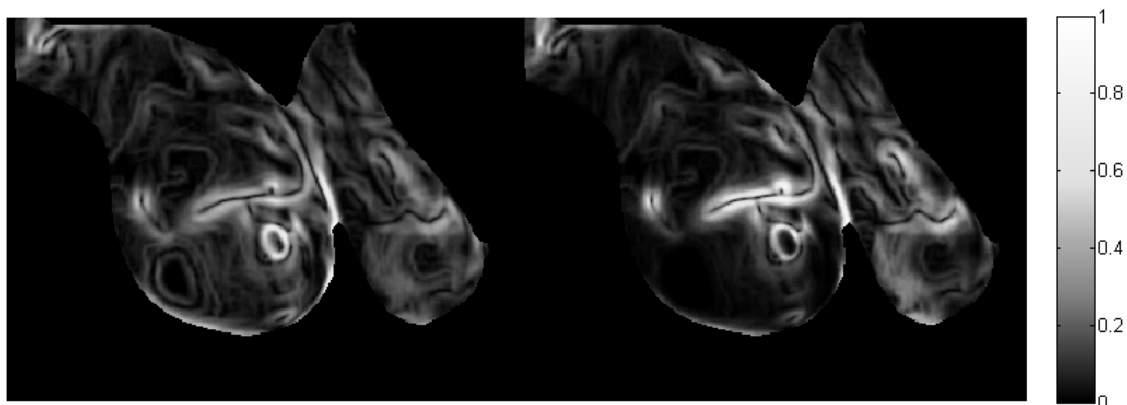
En otro aspecto, es importante hallar las áreas de alta variación y que además tengan tendencia de alta temperatura porque pueden indicar regiones con anomalías térmicas.

Las altas variaciones se hallan calculando el gradiente con la matriz de operación piramidal truncada, que se define como:

$$\mathbf{H}_R = \frac{1}{34} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & -2 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & -3 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & -3 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & -3 & -2 & -1 \\ 1 & 2 & 2 & 0 & -2 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Esta matriz calcula el gradiente con un tamaño de 7x7 en el eje horizontal (x), y es posible calcular el gradiente en el eje vertical (y) utilizando la transpuesta de \mathbf{H}_R . Se trabaja con la magnitud del gradiente en cada punto (ver figura 4.3 (a)), y a esta imagen se le multiplica la información de temperatura de la piel que cubre la

glándula mamaria normalizada de 0 a 1, para darle más peso a las variaciones de alta temperatura, como se muestra en la figura 4.3. (b).



a) Gradiente

b) Gradiente multiplicado por información de temperatura

Figura 4.3. Variaciones de temperatura halladas en vista oblicua derecha de una mujer joven.

La imagen de gradiente en 4.3 (b) normalizada de 0 a 1, es umbralizada para obtener las regiones de alta variación de temperatura relacionadas con altas temperaturas relativas. Además, se aplica un proceso morfológico de cerramiento para tratar de hallar figuras sin huecos que se parezcan a las zonas calientes. La figura 4.4 ilustra la imagen resultante de todo el proceso de altas variaciones de temperatura.

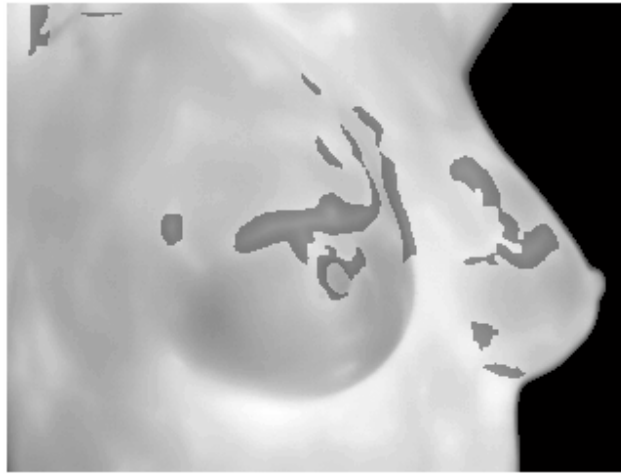


Figura 4.4. Zonas de alta variación de temperatura en una vista oblicua

Las áreas mostradas en zonas de alta temperatura y zonas de alta variación de temperatura, son numeradas. Se halla la relación de área total encerrada y área total de la máscara, si la relación es pequeña, indica que la naturaleza de la mujer tiene poca vascularización en la piel que cubre la glándula mamaria. Además, si se muestra que hay alta cantidad de zonas calientes o de alta variación, indica la posibilidad que un punto caliente sea fácilmente confundido.

A cada zona detectada se le halla la descripción de:

- Área y perímetro en términos de píxeles.
- El número de Euler, que indica la diferencia entre a) la cantidad de áreas y b) la cantidad de huecos contenidos en dicha área, este es más relevante para las zonas de alta temperatura ya que si una zona tiene muchos huecos o huecos de gran tamaño, denotan que posiblemente esta área no puede ser considerada como un punto caliente porque estos espacios pueden indicar que el calor no se está generando desde el interior del área.

- La circularidad indica la relación que existe entre: a) el diámetro de un círculo cuya área es igual al área de la región en estudio y b) el diámetro de un círculo cuyo perímetro es el mismo perímetro de dicha región. La circularidad entrega valores de 0 a 1, valores menores de 0.3 indican zonas alargadas y valores mayores de 0.8 indican zonas parecidas a círculos.
- Mínimo rectángulo que encierra la figura, es una medida que puede indicar la concentración de todos los puntos que conforman una región, sobretodo en regiones que carecen de grandes huecos y cuya orientación es vertical u horizontal.
- La orientación indica la inclinación de la línea de mayor distancia que une dos puntos dentro de una región, puede llegar a ser una variable que indique que tan representativa es la información del anterior descriptor.

Con estas variables se da la descripción básica que permite calcular posibles puntos calientes, clasificación que se deja para un trabajo posterior.

5 RESULTADOS

La metodología desarrollada fue aplicada sobre un algoritmo realizado en la plataforma computacional de MATLAB, el cual presenta una interfaz gráfica detallada en el Anexo E.

El trabajo se desarrolló con una base de 24 registros que fueron obtenidos gracias al personal médico del grupo de investigación ONCOPAT y del grupo de investigación CPS⁵. Cada uno de estos registros corresponde a una paciente, y contiene 5 vistas (frontal, oblicuas derecha e izquierda, laterales derecha e izquierda) que permiten captar la totalidad de la piel que cubre la glándula mamaria.

Se debe aclarar que no todos estos registros se tomaron de forma uniforme teniendo en cuenta el manual de registro del anexo D. La razón de usar todos los registros se basa en que hay algunas vistas que sí fueron bien capturadas, además las otras vistas son usadas con el fin de comprobar el funcionamiento del algoritmo. En la tabla 1 se organizan las vistas de cada registro y se muestran si están bien tomadas o no, por medio del indicador sí o no.

El algoritmo recibe como entrada un registro, el cual puede estar segmentado previamente de forma manual o por alguna herramienta automática, como también puede que no esté segmentado. En este último caso, el algoritmo permite al usuario realizar la segmentación de las 5 vistas por medio de un polígono indicado

⁵ CPS: Grupo de Investigación en Conectividad y Procesado de Señales

con el puntero cada uno de sus vértices. De igual forma existe la opción de corregir o rediseñar alguna máscara gracias a una aplicación del algoritmo. Se recomienda tener en cuenta los parámetros de segmentación inicial, explicados en el Anexo A.

Vistas ideales según recomendaciones del Anexo D.						
	Paciente	Frontal	Obl. Der.	Obl. Izq.	Lat. Der.	Lat. Izq
1	0001	No	No	No	Sí	Sí
2	0004	Sí	No	No	Sí	Sí
3	0008	No	No	No	No	No
4	0012	Sí	No	No	No	No
5	0013	Sí	No	No	No	No
6	0015	No	No	No	No	No
7	0017	Sí	No	No	No	No
8	0019	Sí	No	No	Sí	No
9	0022	Sí	Sí	No	Sí	No
10	0027	No	No	No	No	No
11	0028	No	No	No	No	No
12	0030	No	No	No	No	No
13	0031	No	No	No	No	No
14	0032	No	No	No	No	No
15	0036	No	No	No	No	No
16	0050	No	No	No	Sí	Sí
17	0051	No	No	No	Sí	Sí
18	0052	No	No	No	Sí	Sí
19	0071	Sí	No	No	Sí	Sí
20	0076	Sí	No	No	Sí	Sí
21	0081	Sí	No	No	Sí	Sí
22	0082	Sí	No	No	Sí	Sí
23	0090	Sí	No	No	Sí	Sí
24	0091	Sí	No	No	Sí	Sí
	Sí	12	1	0	13	11

Tabla 1. Evaluación del registro de cada vista.

Con las máscaras de segmentación listas se procede a realizar las sub-divisiones en las cinco vistas, las cuáles fueron aprobadas por el cirujano Álvaro Niño. De esta manera se confirma que el objetivo planteado, de dividir con base en criterios de orden fisiológico la región que comprende las glándulas mamarias en subregiones para su posterior análisis, fue alcanzado satisfactoriamente.

Para trazar las líneas divisorias, se intenta en primer lugar, hallar los puntos de referencia de forma automática, y si éstos no se logran ubicar, el usuario puede iniciar una segunda sub-división en la que se piden los pezones y la mitad de la clavícula que son los puntos de referencia que se confunden en la detección automática. El punto superior e inferior del esternón se obtiene en todos los casos de manera correcta, (si la segmentación inicial está hecha acorde a lo expuesto en Anexo A.).

La sub-división automática puede fallar por las siguientes razones:

- Los pezones se confunde térmicamente con el resto del seno.
- La mitad de la clavícula no se determina porque el registro no está tomado según el manual de registro del Anexo D, es decir no se observa el espacio entre hombro y cuello en la termografía.

Para mayor información del cálculo automático de los puntos de referencia ver Anexo C.

Los pezones están enfocados en todas las vistas de los registros, por lo tanto resulta útil evaluar la detección automática de estos puntos de referencia. En la tabla 2 se expresa la efectividad del algoritmo de detección automática de los pezones para cada vista de cada paciente, denotando con V pezones visibles por vista y D pezones detectados.

La evaluación de la detección del punto de la mitad de la clavícula se realizará solamente para las vistas que estén bien registradas, esto porque se considera que en el futuro todas las termografías se tomarán siguiendo el manual propuesto en el Anexo D. Para las vistas mal registradas no se detecta este punto de referencia, pero para las vistas que si tienen el espacio entre el hombro y cuello lo detecta correctamente.

Con los algoritmos de sub-división que interactúan con el usuario con el fin de pedir los puntos de referencia ubicados en la mitad de cada clavícula y los pezones, se obtiene una efectividad del 100%.

		Hallazgo de los pezones									
		Frontal		Obl. der.		Obl. izq.		Lat. der.		Lat. izq.	
		V	D	V	D	V	D	V	D	V	D
1	0001	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
2	0004	2	2	2	0	2	0	1	1	1	0
3	0008	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
4	0012	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
5	0013	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
6	0015	2	1	2	2	2	2	1	0	1	0
7	0017	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1
8	0019	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
9	0022	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
10	0027	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
11	0028	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
12	0030	1	0	1	1	2	2	1	1	1	1
13	0031	2	2	2	1	2	2	1	0	1	0
14	0032	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
15	0036	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1
16	0050	0	0	0	0	2	2	1	1	1	1
17	0051	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0052	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
19	0071	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1

20	0076	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
21	0081	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
22	0082	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1
23	0090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0091	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Suma		38	32	39	34	42	38	21	19	22	18
Efectividad ($\Sigma D/\Sigma V * 100\%$)		84,211	87,179	90,476	90,476	81,818					

Tabla 2. Evaluación de la efectividad en el hallazgo de los pezones.

Los descriptores de distribución de frecuencia de temperatura son extraídos correctamente de las regiones previamente sub-divididas, y son agrupados por regiones comparativas (pares), así como de las dos regiones manipulables de la sección interactiva que tienen forma de cuadrado cuyo lado en píxeles es editable (ver Anexo E). Estas variables estadísticas son impresas en una tabla de Excel.

En los descriptores de formas de zonas calientes, se evalúa el umbral automático y dinámico para cada vista de cada paciente según 3 posibles valores: 1. Encierra aproximadamente todas las zonas de alta temperatura (0), 2. Encierra menos zonas de alta temperatura de las que existen (-), 3. Encierra más zonas de alta temperatura de las que existen (+).

La tabla 3, presenta la información de evaluación del umbral automático y dinámico.

Los descriptores de forma de las regiones de alta temperatura como las de alta variación de temperatura son extraídos correctamente. Datos que son impresos en una tabla de Excel.

Cabe recordar que los descriptores extraídos en el presente trabajo no pueden ser validados a corto plazo, si no que este proceso puede tardar varios meses o años

y solo después de un extenso y especializado estudio se pueden aplicar los resultados como parte de un método de detección de cáncer de mama, o en su defecto ser excluidos de este tipo de diagnóstico.

		Evaluación del umbral Dinámico.				
	Paciente	Frontal	Obl. Der.	Obl. Izq.	Lat. Der.	Lat. Izq
1	0001	0	0	0	0	-
2	0004	0	+	+	0	0
3	0008	0	0	0	0	0
4	0012	0	-	+	0	0
5	0013	+	0	+	0	0
6	0015	+	+	0	+	0
7	0017	0	0	-	0	0
8	0019	-	+	0	0	+
9	0022	0	+	+	0	0
10	0027	0	0	0	0	0
11	0028	0	0	0	+	+
12	0030	-	0	0	+	0
13	0031	0	0	0	0	-
14	0032	0	+	+	0	0
15	0036	0	-	-	0	0
16	0050	-	0	-	0	0
17	0051	-	0	-	0	-
18	0052	0	0	-	0	-
19	0071	0	0	0	0	0
20	0076	-	0	-	0	-
21	0081	+	0	0	0	0
22	0082	0	0	0	0	0
23	0090	0	0	0	0	0
24	0091	0	-	-	-	-
Efectividad (0s/24) * 100%		66.66	66.66	50.0	83.3	66.66

Tabla 3. Evaluación del umbral dinámico.

6 CONCLUSIONES

La documentación indica que desde las primeras etapas del desarrollo del cáncer de mama, éste se manifiesta con anormalidades térmicas, y que los análisis basados en termografía infrarroja han carecido de objetividad motivando su poco uso. Se ve la necesidad de establecer un precedente en la aplicación de procesamiento digital de imágenes para la automatización del proceso de detección del carcinoma y en este caso sobre la extracción de descriptores de termogramas de mama.

Para lograr un análisis ecuánime y obtener resultados confiables, las diferentes vistas de cada registro deben ser captadas siguiendo un manual establecido, de manera que, las comparaciones entre regiones análogas superen inconvenientes producidos por las diferentes formas que pueden presentar esta parte del cuerpo femenino.

Para evitar que los descriptores hallados sean vulnerados por ruido como lo es el fondo de la imagen o partes del cuerpo que no se relacionan directamente con el carcinoma, en la metodología se realiza una segmentación inicial, la cual por no estar dentro de los objetivos del presente trabajo se realiza de manera manual. En el proceso de segmentación debe tener en cuenta que existen zonas del cuerpo que no pueden ser sensadas de manera confiable por la cámara termográfica y que esta información, a pesar de estar dentro de la región correspondiente a la glándula mamaria o axila, se comporta como ruido.

La fisiología y la morfología regular de las mujeres se tuvieron en cuenta al realizar las segmentaciones iniciales y las sub-divisiones de cada vista, gracias a la asesoría profesional del MD Álvaro Niño, y estudios anteriores.

Los resultados de los descriptores seleccionados permiten obtener información relacionada con las distribuciones térmicas de cada mujer, que pueden servir para representar anomalías térmicas por las consideraciones con los que fueron extraídos.

Debido a que los resultados presentados son parte de un proyecto de investigación de suma importancia por su incursión en el campo de la salud humana, la aplicabilidad de los resultados aquí presentados solo puede ser establecida después de un largo y especializado estudio que puede tardar meses o años antes de su aprobación o rechazo.

7 RECOMENDACIONES

En proyectos orientados al procesamiento de imágenes hay que controlar el proceso de adquisición del material a procesar, en este caso termografías de glándula mamaria. Por esto, es recomendable tomar las indicaciones mostradas en el Anexo D si se desea seguir la metodología implementada en este trabajo.

En trabajos venideros, el protocolo de registro puede mejorarse teniendo en cuenta seis termografías, una para cada seno en las que el pezón esté sobre el centro horizontal del seno. Es decir que en lo posible el pezón se muestre centrado en el seno. Además, se debe modificar las vistas oblicuas dando prioridad a que el seno lejano a la cámara aparezca de perfil y sin que el seno cercano lo tape. Sumadas así a las mismas vistas laterales que se venían realizando. De esta forma, se obtendría una mejor sub-división de áreas similares en todos los registros.

Cuando se llevan a cabo proyectos de tipo interdisciplinario que involucran áreas ajenas a la ingeniería electrónica, es recomendable contar con la asesoría profesional en la materia en este caso personal médico especializado en el conocimiento de la glándula mamaria, tal y como se evidenció en este trabajo. Así como también, en el manejo de registros termográficos, ya que con su experiencia pueden contribuir a crear soluciones argumentadas de los problemas que se presenten.

En caso de una nueva investigación en el mismo tema, se recomienda que se tenga en cuenta la metodología usada para la descripción de los termogramas en este trabajo y los resultados obtenidos en el proyecto “Evaluación de la termografía infrarroja en la detección del carcinoma de glándula mamaria”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Organización Mundial de la Salud (OMS), “Cáncer” [online], Nota descriptiva No. 297, Febrero 2006 [citado: Diciembre de 2007]. Disponible desde:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/es/index.html>

[2] World Health Organization, “The impact of Cancer” [online], 2006 [citado: Diciembre de 2007]. Disponible desde:

http://www.who.int/ncd_surveillance/infobase/web/InfoBasePolicyMaker/reports/ReporterFullView.aspx?id=5

[3] Revista Salud Colombia, “Resolución 00412 de 2000 del Ministerio de Protección Social”, [citado: Diciembre de 2007]. Disponible en:

<http://www.saludcolombia.com/actual/htmlnormas/normacas.htm>

[4] Fundación “Susan G. Komen for the Cure”. Página Web:

http://www.komen.org/bsl_kbc/en/kbc_01_01a.htm

[5] Lawson R.

Implications of Surface Temperatures in the Diagnosis of Breast Cancer. *Can Med Assoc J Vol 75*; 1956 páginas 309-310. Disponible en:

<http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1824571&blobtype=pdf>

[6] 1998-2005 Pacific Chiropractic and Research Center. Página web revisada en año 2008: <http://www.breastthermography.com>

[7] Sudharsan, N. M., Ng, E. Y. K. and Teh, S. L. (1999)

'Surface Temperature Distribution of a Breast With and Without Tumour'. En: Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Singapore, páginas 187 – 199.

[8] Gautherie, M. y Gros C. M.

Breast Thermography and Cancer Risk Prediction. Cancer patients. 1980.

[9] Ng, E. Y. K., Ung, L. N., Ng, F. C. and Sim, L. S. J.

Statistical analysis of healthy and malignant breast thermography; *Journal of Medical Engineering & Technology*, Vol 25 (Num 6), Noviembre/Diciembre 2001 páginas 253-263; Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1080/03091900110086642>

[10] Fluke Corporation, Ti50 and Ti55 IR FlexCam®, Thermal Imagers, Data Sheet.

<http://us.fluke.com/usen/products/Fluke+Ti50+Series.htm>

[11] J. Manjer, G Balldin, J.P. Garne.

Tumour location and axillary lymph node involvement in breast cancer: a series of 3472 cases from Sweden.

The Journal of Cancer Surgery. Department of Surgery, Malmö University Hospital, Sweden. 2004

[12] Gerald C. Holst.

Common Sense Approach to thermal imaging.

Publication of SPIE.

Florida, Usa. JCD Publishing. 2000.

[13] Charles. A. Lipari, Jonathan F. Head. Arizona State University

Advanced Infrared Image Processing For Breast Cancer Risk Assessment.
Proceedings - 19th International Conference - IEEE/EMBS 1997.

[14] Jonathan F.Head, Charles A. Lipari, Fen Wang and Robert L. Elliot.
Image analysis of digitized infrared images of the breasts from a first generation
infrared imaging system.
Proceedings - 19th International Conference - IEEE/EMBS 1997.

[15] J. F.Head, C. A. Lipari, R. L. Elliot.
Determination of mean temperature of normal whole breast and breast quadrants
by infrared imaging and image analysis
Proceedings of the 23rd Annual EMBS International Conference. Turkey 2001.

[16] Liga Colombiana contra el Cancer, “Cancer de Mama – Generalidades”;
disponible en: <http://www.ligacancercolombia.org/files/2008%20-%20Documento%20tecnico%20mama.pdf>

[17] Hisashi Usuki, Hajime Maeta, et al.
Standardization of thermographic breast cancer detection - Role of qualitative
findings and quantitative findings.
Proceedings of the 22th Annual EMBS International Conference. Chicago, IL, USA.
Department of Surgery, Kagawa Medical University, Japan. 2000

[18] Andrew H.S. Lee. Histopathology Department, Nottingham City Hospital,
Hucknall Road, Nottingham NG5 1PB, UK.

Why is carcinoma of the breast more frequent in the upper outer quadrant? A case series based on needle core biopsy diagnoses. Disponible en:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960977604001043>

[19] Tang, Xianwu y Ding, Hauishu.

Asymmetry Analysis of Breast Thermograms with Morphological Image Segmentation. Proceedings of the 2005, IEEE. Department of Biomedical Engineering, Tsinghua University (China).

[20] Yang, Hong-qin et al.

A New Infrared Thermal Imaging and its Preliminary Investigation of Breast Disease Assessment. International conference on complex medical engineering / IEEE – 2007

[21] Niño, Álvaro.

Asesoría médica. Septiembre y Octubre 2008.

MD Cirujano general, cirujano de mama y tejido blandos

INGEPEC. Facultad de Salud. Universidad Industrial de Santander

[22] Orozo Vargas, Luis Carlos

Asesoría médica. Octubre 2008.

MD MSc Epidemiología

Profesor asociado, Escuela de Enfermería. Facultad de Salud

Universidad Industrial de Santander

[23] Douglas C. Montgomery, George C. Runger.
Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería.
México. Mc Graw Hill. 1996

[24] Jorge G. Gladys G. María M. Rodrigo A. José P.
Introducción a la estadística Descriptiva.
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Disponible en: <http://www.ucv.cl/web/estadistica/mapa.htm>

[25] Nixon, Mark S., Aguado, Alberto S.
Feature extraction and image processing; Oxford; Newnes; 2002; ISBN 0 7506
5078 8

[26] Gonzales, Rafael C. y Woods, Richard E.
Digital image processing; segunda edición; New Jersey, USA; Prentice Hall; 2002;
ISBN: 0-201-18075-8

[27] William K. Pratt
Digital Image Processing
Fourt Edition. PIKS Scientific Inside. 2007

[50] Jones, B.F.
A reappraisal of the use of infrared thermal image analysis in medicine: Medical
Imaging, IEEE Transactions on
Volume 17, Issue 6, Dec. 1998 Page(s):1019 – 1027

ANEXOS

A. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGMENTACIÓN INICIAL

Los cinco registros encierran de manera diferente la piel que cubre la glándula mamaria como también parte de los nodos linfáticos, la figura A.1 muestra los principales tejidos que se relacionan con el carcinoma de seno.

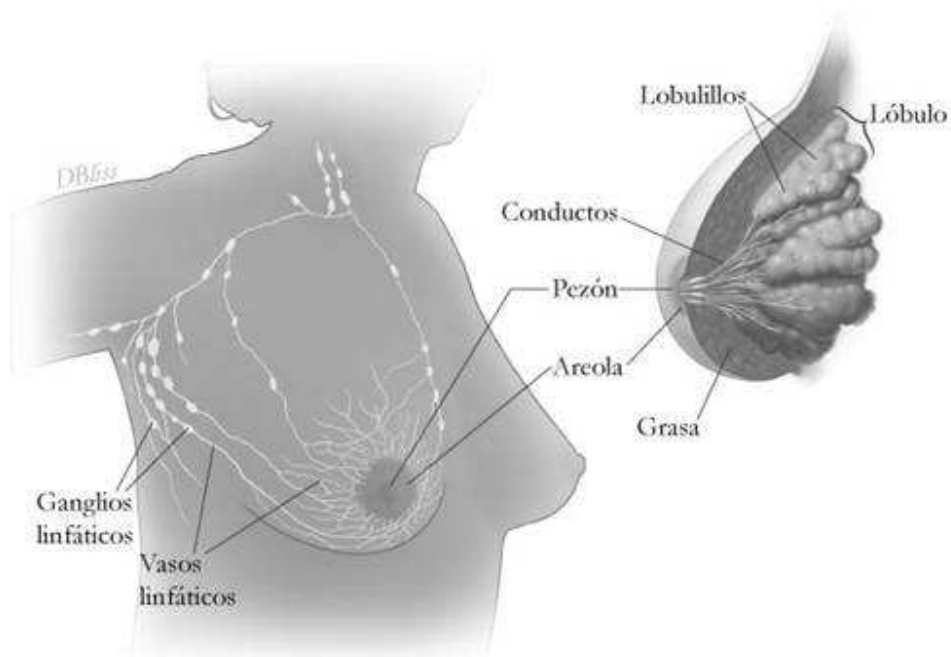


Figura A.1. Ilustración sencilla de la glándula mamaria.

Fuente: imagenesdeanatomia.blogspot.com/2008/05/glandulas-mamarias.html

Según el asesoramiento médico proveído, especialmente por parte del cirujano Álvaro Niño [21], la segmentación inicial debe contener el seno completo y la axila,

sin encerrar la piel que se encuentra por encima del hueso de la clavícula; además la región del seno no debe contener en lo posible la piel que se encuentra debajo de la axila en las tomas laterales, ya que esta región no cubre normalmente la glándula mamaria, aunque esto puede variar sobre todo en mujeres adultas que presenten ptosis⁶

El punto que brinda información sobre las clavículas y que además sirve de referencia para las divisiones es el esternón, punto equidistante a cada clavícula.

A.1 Segmentación inicial en vista frontal

En esta toma los senos son la información mejor registrada, ya que la axila se representa mejor en las vistas oblicuas y laterales. Es importante entonces, que la segmentación contenga la curvatura de los senos, como también la forma de la clavícula.

La segmentación inicial sobre la toma frontal se ilustra en la figura A.2.

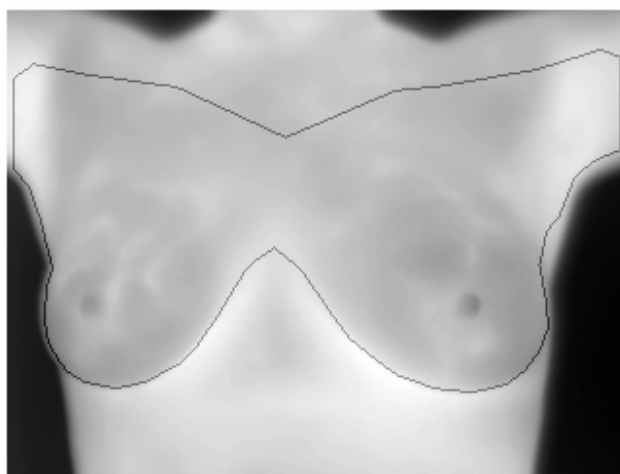


Figura A.2. Segmentación inicial en vista frontal.

⁶ Ptosis: Senos desplazados y caídos. El pezón se halla por debajo del pliegue submamario

A.2 Segmentación inicial en vistas oblicuas

En estas tomas es importante que el brazo lejano no salga en la segmentación, ya que esa parte del brazo no contiene información relevante de la glándula mamaria; además la región del seno cercano no debe ir hasta más atrás de la mitad de la axila.

La segmentación inicial sobre las tomas oblicuas se muestran en la figura A.3.

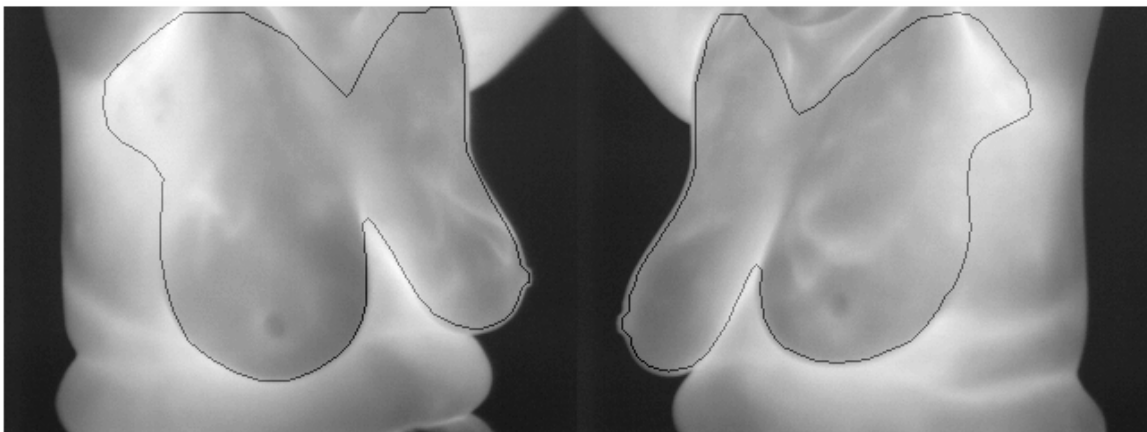


Figura A.3. Segmentación inicial en tomas oblicuas.

A.3 Segmentación inicial en vistas laterales

En esta clase de vistas se muestra solamente información de la parte externa del seno y la axila, de manera que se debe segmentar el área de la axila y además procurar que la región del seno no tenga información de piel que esté debajo de la axila y muy cerca de la espalda.

La segmentación inicial sobre las vistas laterales se muestran en la figura A.4.

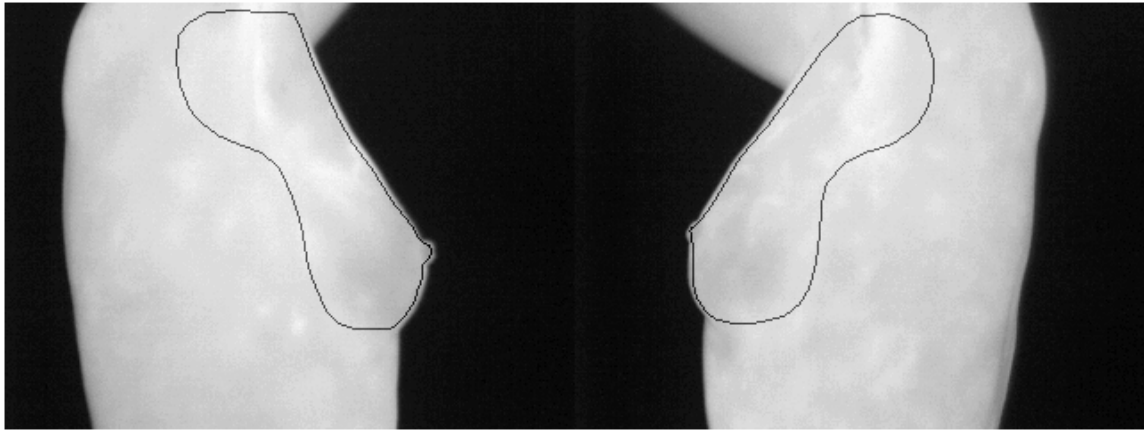


Figura A.4. Segmentación inicial en vistas laterales.

B. PROPUESTAS DE SUBDIVISIÓN INCOMPLETAS O INCORRECTAS

Teniendo en cuenta [13], [14] y [15]; además de los primeros enfoques planteados por ONCOPAT, se realizaron las primeras sub-divisiones que fueron descartadas posteriormente. En estas se pensaba dividir el seno en cuadrantes en todas las vistas, además de separar la región de la axila, y la parte superior del pecho. El costado se tomaba, pero separado del seno, porque no se sabía si tenía una fuerte relación con la glándula mamaria.

A continuación se presentan las propuestas de sub-división hechas como material de estudio, las cuales generaron los primeros cuestionamientos que sirvieron para crear las sub-divisiones del capítulo 2.3.

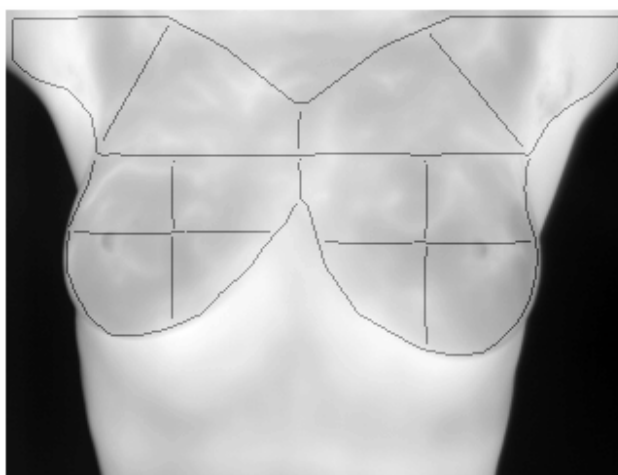
Hay que aclarar que para tales sub-divisiones se utilizó una máscara de segmentación inicial diferente a la implementada, sobre ésta también se realizan comentarios en las propuestas incorrectas. Para entender más sobre la segmentación inicial, pueden revisar el Anexo A.

B.1. Propuestas incorrectas de sub-división en la vista frontal

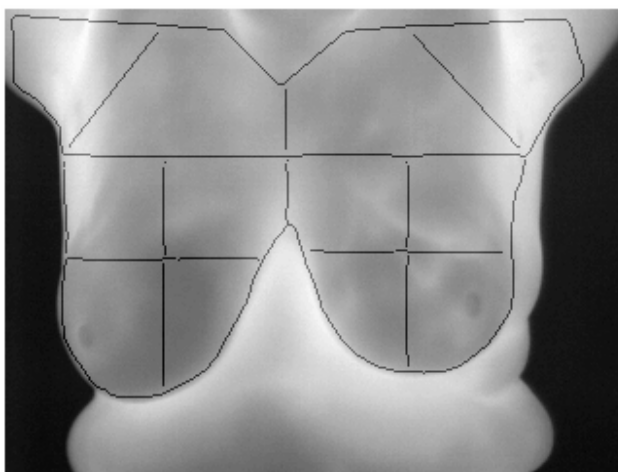
En la vista frontal se realizaron 2 propuestas de sub-división previas a la implementada y que fueron basadas en estudios anteriores en el tema tal como los llevados a cabo por [15] entre otros; la realización de cada una, como sus cuestionamientos básicos se explican a continuación:

- La primera propuesta de sub-división frontal se muestra en la figura B.1. En esta se supone que el pezón se encuentra en el centroide del seno, suposición poco

acertada como se observa en las imágenes. Se supone también que la línea que divide la axila va hasta la misma columna del supuesto pezón, de nuevo se falla en la división porque la axila no cubre toda esa extensión de piel. Además el seno se dividió de la parte superior del pecho, suposición errónea porque esta área comparte parte de la morfología de la parte más pronunciada del seno.



a) Primera propuesta de división frontal en una mujer joven.

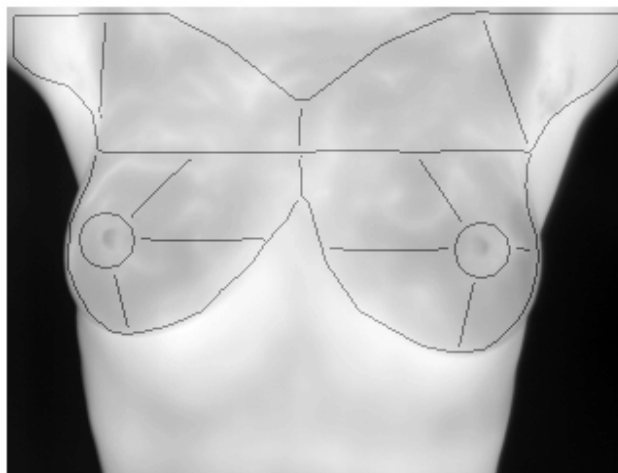


b) Primera propuesta de división frontal en una mujer adulta.

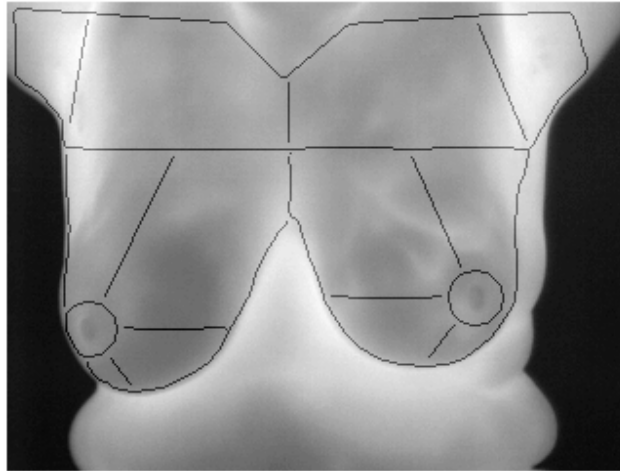
Figura B.1 Primera propuesta de división frontal incorrecta.

- La segunda propuesta de división frontal tiene en cuenta la localización manual de la región de la areola y el pezón, esta región se encierra en un círculo por su forma natural. Las divisiones de cuadrante se basan en la localización manual del pezón, el punto más inferior del seno y una línea horizontal que atraviesa el pezón. En tales cuadrantes falta tener en cuenta un poco más la morfología del seno porque las líneas no deben ser tan horizontales sino que tengan relación con la dirección de la pronunciación del seno.

En la figura B.2. Se ilustra la segunda propuesta de sub-división frontal para 2 mujeres.



a) Segunda propuesta de división frontal en mujer joven.



b) Segunda propuesta de división frontal en mujer adulta.

Figura B.2 Segunda propuesta de división frontal incorrecta.

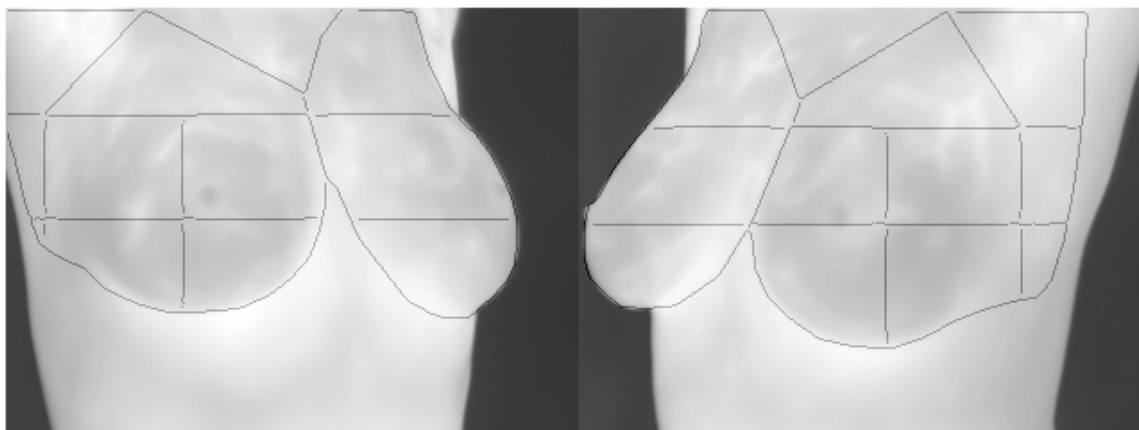
Para la propuesta implementada finalmente se tuvo en cuenta que los cuadrantes externos de los senos encerraban muy poca área, por esto se deja de plantear líneas horizontales para dividir el seno en parte superior e inferior. También se unen la parte superior del pecho con la región del seno, por lo cual quedan solo dos regiones a cada lado de la segmentación inicial, la axila y el seno; la región del seno es dividida en región lateral y medial gracias a una línea que pasa por el pezón y la mitad de la clavícula. La areola no tiene tanta información como el pezón, así que estas vistas se debe tratar de encerrar solo el pezón [21].

B.2. Propuestas incorrectas de sub-división en las vistas oblicuas

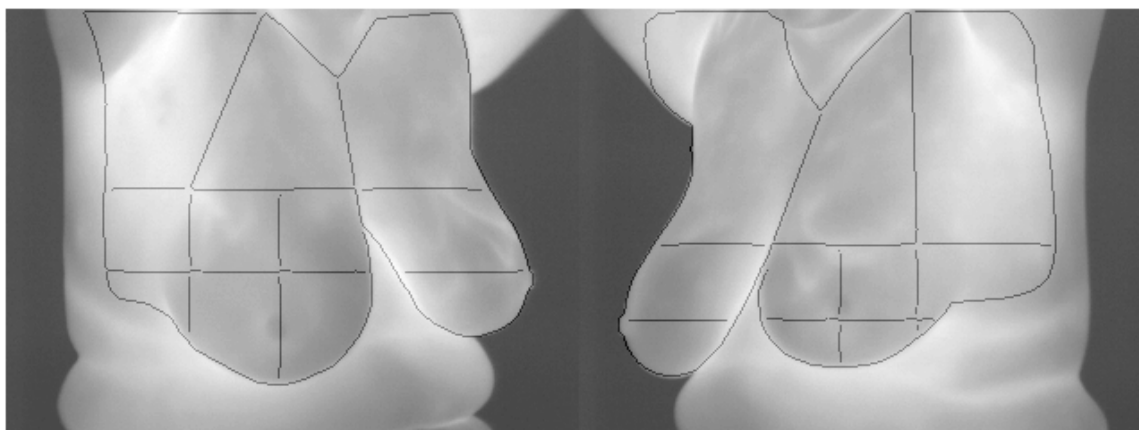
En las vistas oblicuas se realizaron dos propuestas previas a la implementada y que siguen manteniendo la idea de dividir el seno en cuadrantes; la realización de cada una, como sus cuestionamientos básicos se explican a continuación:

- En la primera propuesta de sub-división de la vista oblicua, se trabaja muy parecido a la vista frontal, el seno cercano a la cámara se dividió en cuadrantes,

con el centroide como punto de referencia. Además se tuvo en cuenta parte del costado de la mujer, dividiendo ese costado en 2 por medio de la línea que atraviesa el pezón. Acá de nuevo se observa que el centroide no sirve como punto para indicar el pezón.



a) Primera propuesta de división oblicua en mujer joven.

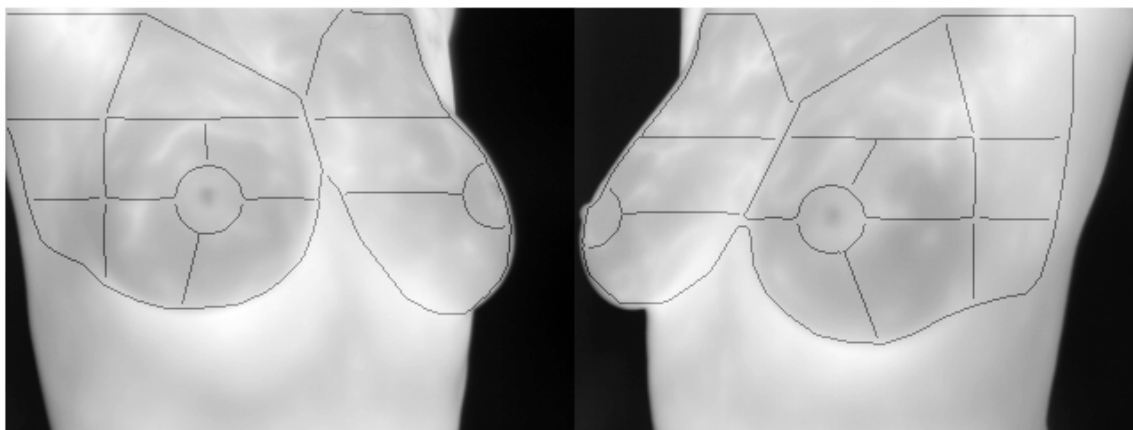


b) Primera propuesta de división oblicua en mujer adulta.

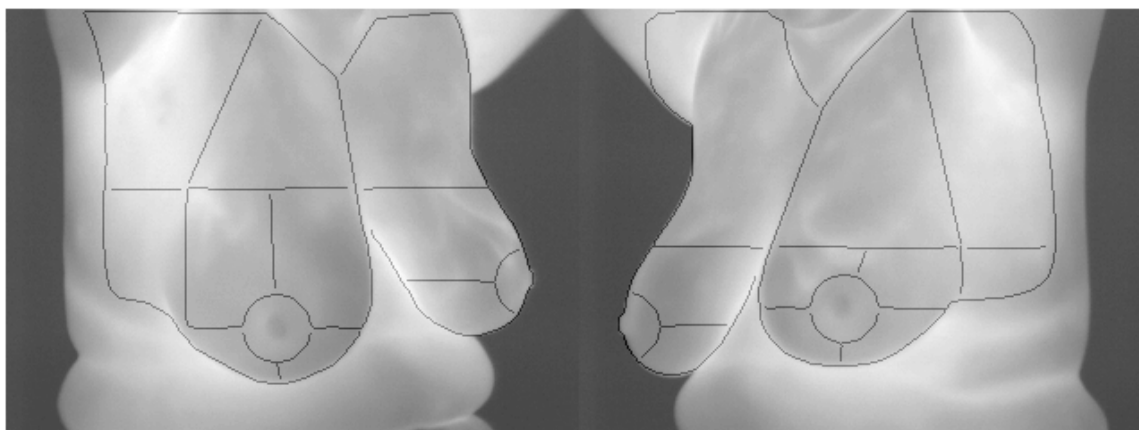
Figura B.3. Primera propuesta de división oblicua incorrecta.

- En la segunda propuesta de sub-división de la toma oblicua, se pide de nuevo el pezón al usuario, encerrando esta área con un círculo, tratando de tener en cuenta la areola. El punto más bajo de los senos se usa como referencia para trazar los

cuadrantes en el seno, pero no se tiene en cuenta la dirección de la pronunciación del seno cercano. En el seno lejano se traza una línea horizontal que pasa por el seno tratando de localizar los 2 cuadrantes internos, pero acá de nuevo no se tiene en cuenta la dirección del seno [21].



a) Segunda propuesta de división oblicua en mujer joven.



b) Segunda propuesta de división oblicua en mujer adulta.

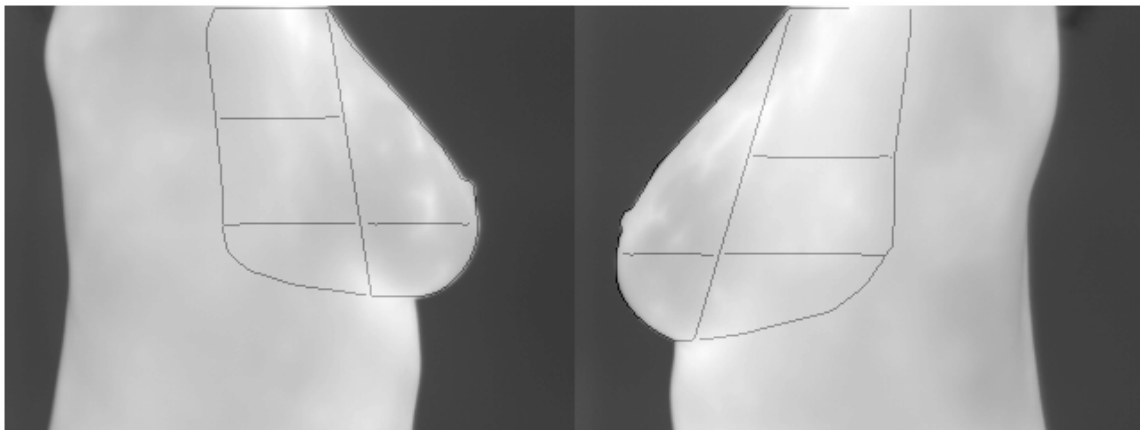
Figura B.4. Segunda propuesta de división incorrecta.

El área de los brazos encerrada en la máscara de segmentación como el costado, deben ser excluidos de la región porque no tienen relación significativa con la glándula mamaria, ver figura A.1.

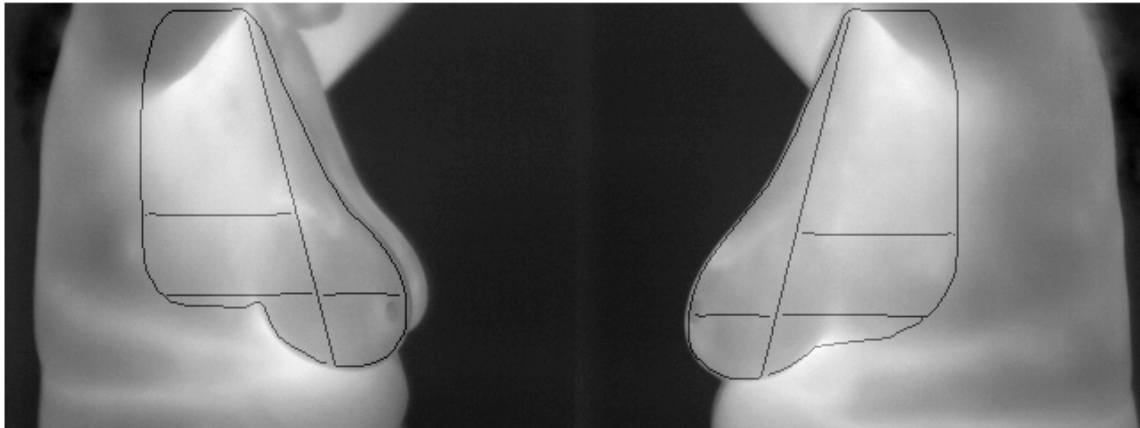
B.3. Propuestas incorrectas de sub-división en las vistas laterales

En las vistas laterales se realizaron 2 propuestas previas a la implementada, la realización de cada una, como sus cuestionamientos básicos se explican a continuación:

El primer enfoque supone que el seno es la parte del pecho que va desde el punto posterior de la axila hasta el punto más bajo de la máscara de segmentación, suposición errónea porque la glándula mamaria tiene más profundidad que la marcada por esa línea [21].



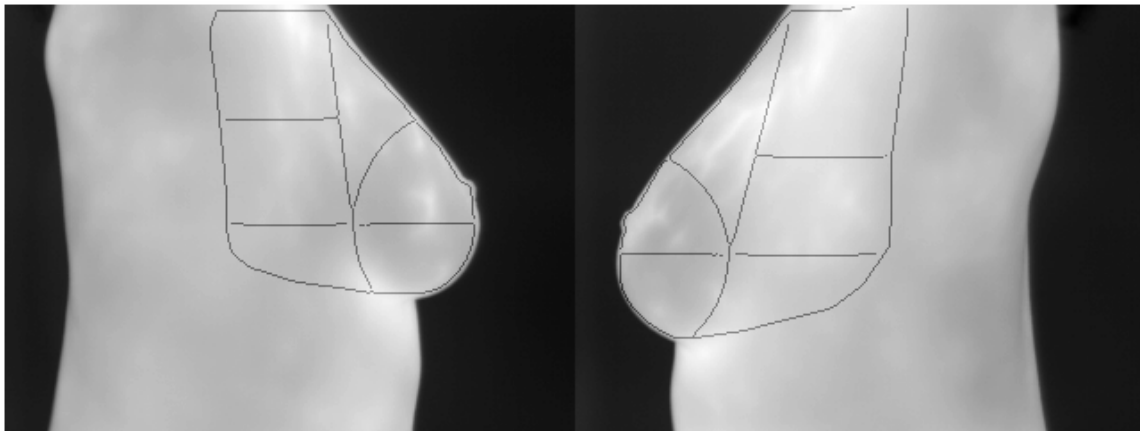
a) Primera propuesta de división lateral en mujer joven.



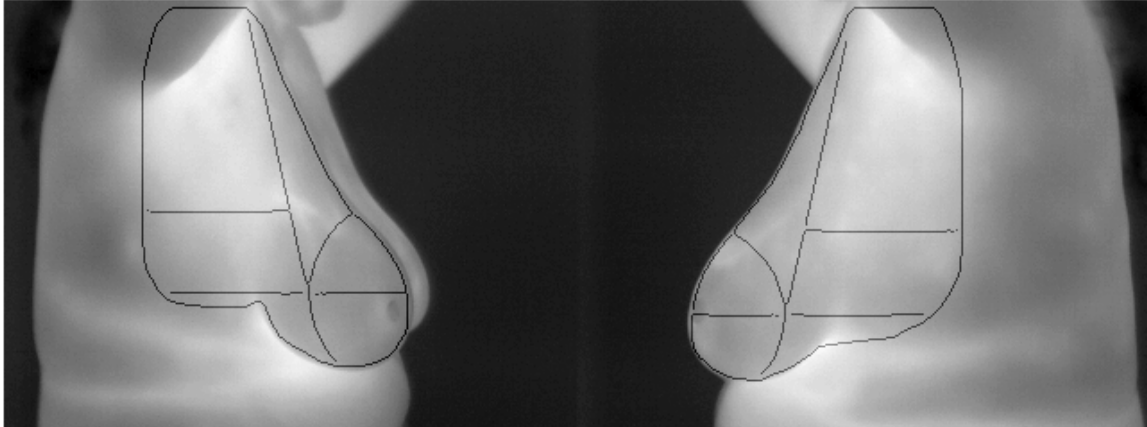
b) Primera propuesta de división lateral en mujer adulta.

Figura B.5. Primera propuesta de división lateral incorrecta.

El segundo enfoque tiene en cuenta una circunferencia que intenta diferenciar de nuevo el seno como región aparte del pecho, regiones que como ya se ha comentado se deben unir.



a) Segunda propuesta de división frontal en mujer joven.



a) Segunda propuesta de división frontal en mujer mayor.

Figura B.6. Segunda propuesta de división lateral incorrecta.

La máscara de segmentación inicial en este caso contiene mucha información que no brinda es relevante para el análisis térmico de la glándula mamaria, el costado no debe ser tomado y los brazos tampoco. Además de que la división entre superior e inferior debe procurar tener la dirección de la pronunciación del seno.

C. LOCALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE PUNTOS DE REFERENCIA SEGÚN INFORMACIÓN PRESENTADA EN LA TERMOGRAFÍA

El algoritmo implementado tiene la tarea de detectar automáticamente los puntos de referencia que sirven para realizar las sub-divisiones de las diferentes vistas implementando procesamiento digital de imágenes.

La mayoría de los puntos se encuentran automáticamente de forma correcta en todas las vistas, pero hay puntos como el pezón, en los que el algoritmo puede fallar en su intento de ubicarlos debido a que estos se pueden confundir térmicamente con otras zonas, o simplemente no son visibles que incluso para el usuario puede resultar difícil ubicarlos.

Primero se hablará del procedimiento para hallar los pezones en la vista frontal y en las oblicuas, proceso que resulta ser el más complejo en la búsqueda de puntos de referencia

Al observar todas las termografías tomadas se notó que en la mayoría de ellas, el pezón de cada mujer suele tener baja temperatura respecto a la temperatura de alrededor, así que esta observación es aplicada dentro de la detección del punto de referencia ubicado en el pezón.

Para comenzar con la detección, se utiliza la información contenida dentro de la segmentación inicial, a ésta se le realiza un aumento de contraste, de manera que todo el rango de grises sea ocupado. Luego se aplica un filtro de suavizado con un filtro promedio con el fin de resaltar un poco las formas circulares de los pezones, a esta imagen se le aplica el detector de bordes de Canny [26], y luego una

operación morfológica de cerramiento para tratar de mejorar el borde de las áreas circulares; a esa nueva imagen, se le etiquetan las zonas cerradas.

Teniendo esas zonas cerradas se desecha las que estén por encima del punto de la mitad entre el esternón y la unión de los senos, ya que en las termografías analizadas para este procedimiento no se encontró ningún pezón por encima de este punto.

A partir de esa nueva imagen con zonas cerradas etiquetadas se realiza la detección de pezones en la vista frontal y en las oblicuas.

En la vista frontal, se buscan áreas que estén en un pequeño delta de altura, organizándolas en pares; luego busca cuáles están a la misma distancia de la unión de los senos teniendo en cuenta un pequeño rango de error que es el mismo usado en la primera organización. En varias mujeres se encuentra el par de regiones circulares que identifican los pezones con esta primera opción, y se selecciona el centroide de tales áreas como puntos de referencia, en otras no se hallan porque los senos tienen formas diferentes, y además el pezón se puede confundir térmicamente.

Por esa diferencia de forma entre senos se hace una segunda iteración aumentando el rango gradualmente hasta un 50%, y con este nuevo rango detecta pezones en algunas mujeres. Para las termografías que con esas dos iteraciones no encuentra el pezón, entonces se itera pero ahora teniendo en cuenta solo la temperatura, en este procedimiento se supone que el pezón es el área encerrada más fría. De esta manera se puede hallar con esto un pezón, y el otro se aproxima replicándose el punto de referencia en el otro seno, manteniendo la relación de distancias entre la unión de los senos y el borde externo de la máscara, dando una buena aproximación del pezón que en muchos casos es adecuada.

Si después de este proceso no se encuentran los pezones, entonces se le solicita al usuario que indique con el puntero dónde se ubican dichas partes del cuerpo.

En la vista oblicua, se utiliza la imagen con zonas encerradas para hallar el pezón del seno cercano, y en este caso se tiene en cuenta la temperatura como referencia, suponiendo que el pezón es la zona encerrada más fría. En varias mujeres se detecta correctamente con este parámetro, en caso contrario se le solicita al usuario que indique los dos pezones sobre el termograma.

Hay que notar que los pezones de las mujeres de mayor edad, se confunden fácilmente por su temperatura, tanto que puede resultar difícil para el usuario identificar tales puntos.

Ahora se continúa explicando cómo se hallaron los demás puntos de referencia básicos para las sub-divisiones.

C.1. Algoritmo para hallar puntos de referencia básicos en la vista frontal

En la vista frontal se necesita de varios puntos de referencia básicos para efectuar las sub-divisiones: punto superior del esternón, punto de unión de los senos, pezones, y mitad de la clavícula.

La parte superior del esternón puede ser ubicado en el punto más inferior del borde superior de la máscara limitada por los hombros a cada lado.

Para el punto de unión de los senos en la parte media del pecho, se realiza un procedimiento similar al anterior, pero además limitando la máscara solo a la parte de abajo del esternón.

La mitad de la clavícula es hallada gracias a la ubicación de dos puntos: a) el punto inferior del hueco entre el hombro y el cuello que está aproximadamente a la altura del primer o tercer octavo (de la longitud de la clavícula) desde la parte lateral de la clavícula a la parte medial y b) la ubicación del esternón, cuya mitad está a aproximadamente un octavo (de la longitud de la clavícula) del extremo medial de la clavícula. Trazando una línea desde el esternón hasta el punto inferior del hueco del hombro, y suponiendo que la clavícula se encuentra casi en la misma dirección que esa línea, se halla la relación para indicar la mitad de la clavícula.

Los puntos de los pezones se hallan como se explicó anteriormente.

C.2. Algoritmo para hallar puntos de referencia en la vista oblicua

Los puntos básicos de referencia para la toma oblicua son: pezones, punto superior del esternón, unión de los senos y punto superior de división de axila.

El punto superior del esternón es hallado de igual forma que en la toma frontal, teniendo en cuenta la pendiente del borde superior de la máscara.

El punto de unión de los senos es hallado con el mismo algoritmo que en la toma frontal.

El pezón del seno cercano es hallado de la misma forma que en la frontal.

El pezón del seno lejano se supone en el borde de la máscara lo más alejado posible de la unión de los senos

C.3. Algoritmo para hallar puntos de referencia en la vista lateral:

El algoritmo para hallar puntos en la vista lateral derecha, fue el mismo usado en la lateral izquierda, reflejando la imagen. Sus puntos importantes son: pezón, punto debajo de la axila en el borde de la máscara, punto frontal del hombro cercano.

En la vista lateral el punto del pezón suele estar en el borde más frontal de la del seno de la mujer. Así que el punto del pezón se halla en el punto más externo de la máscara de segmentación hacía el frente de la mujer.

Para hallar el punto frontal de la fosa axilar se evalúa la pendiente del borde superior de la máscara de segmentación, a partir de unos centímetros más arriba del pezón hasta la parte posterior de la axila; el punto frontal de la fosa axilar se encuentra cuando se presente una fuerte caída en la pendiente del borde delimitado como se explico anteriormente.

Para hallar el punto debajo de la axila, se utiliza el punto frontal del brazo cercano y el punto extremo posterior del pliegue submamario (comúnmente el punto más bajo de la máscara de segmentación). Se traza una línea entre tales puntos, y el punto de la mitad de la línea se utiliza como referencia para hallar horizontalmente el punto de referencia debajo de la axila dentro de la máscara. Este nuevo punto hallado entra en una iteración al preguntar si debajo de él y hacía atrás hay área segmentada, si lo hay entonces se realiza una nueva línea teniendo en cuenta de nuevo el punto frontal del brazo, pero ahora el punto más inferior de la máscara en la columna del punto anterior. La razón de este procedimiento es que en mujeres de bastante edad el seno puede llegar hasta debajo de la axila.

D. RECOMENDACIONES SOBRE LOS REGISTROS TERMOGRÁFICOS

Debido a que el conjunto de registros termográficos son las entradas a describir, estas deben de cumplir ciertas características las cuales se enumeran a continuación:

- Cada conjunto de registros debe contener cinco vistas a diferentes ángulos: vista frontal, vista oblicua derecha y oblicua izquierda (a aproximadamente ± 45 grados de giro en el eje horizontal respecto a la vista frontal), vista lateral derecha y lateral izquierda (a ± 90 grados de giro en el eje horizontal respecto a la frontal).
- Todos los registros deben realizarse teniendo el eje horizontal de mayor longitud que el eje vertical en la cámara, es decir, la cámara no debe girarse 90 grados respecto a su eje.
- En cada vista la mujer debe permanecer con su espalda recta.
- El torso debe salir de forma vertical en la cámara (La toma no debe registrar el torso inclinado).
- El cabello de la mujer no debe aparecer en ninguna vista, para esto se aconseja recoger el cabello con las manos de la misma mujer.
- Procurar que en todas las tomas la cámara esté a la misma altura (recomendado a la altura de $\frac{3}{4}$ del torso) y sea el camarógrafo el que gire.
- La mujer debe tener los brazos cruzados, tocando con las manos la parte trasera de la cabeza formando un ángulo de 45 grados con los hombros.
- La mujer debe tener su mirada dirigida hacia al frente de ella en todas las tomas.
- Una parte de los brazos de la mujer debe aparecer en cada vista, lo suficiente para que se detecte la parte de la axila.

- En la vista frontal se debe procurar que entre el cuello y los hombros de la paciente se observe un espacio que sea parte del fondo del termograma. Además, los senos deben ocupar la mayor parte de la imagen (es decir sin enfocar el abdomen).
- En las vistas oblicuas se debe registrar además de los senos y la axila cercana, un espacio entre el hombro cercano y el cuello. Además, debe procurarse cumplir con los siguientes dos aspectos para el correcto registro de la piel que cubre la glándula mamaria, en orden de importancia se explican:
 - a) El seno que queda en el lado lejano debe observarse de lado, es decir que el pezón de este se va a encontrar en el borde de la silueta, además el seno opuesto (lado cercano) no debe obstruir la visibilidad de el seno lejano, procurando que se vea parte de la piel que está bajo el esternón
 - b) en la medida de lo posible el seno del lado cercano debe tener el pezón de frente a la cámara.
- En las perspectivas laterales se deben registrar los senos y la axila de la mujer además de cumplir con los siguientes aspectos:
 - a) La vista se debe cubrir parte del brazo cercano (medio tríceps), esto para tener como base para la segmentación y que se vea toda la axila.
 - b) En la medida de lo posible debe salir sólo el seno cercano a la cámara, esto a veces no es posible porque la mujer tiene un seno más grande que el otro.
- Para todas las tomas se debe seguir el protocolo de registro definido por los autores del proyecto “Evaluación de la Termografía Infrarroja para la Detección del Carcinoma de Glándula Mamaria”.

D.1. Termogramas frontales idóneos

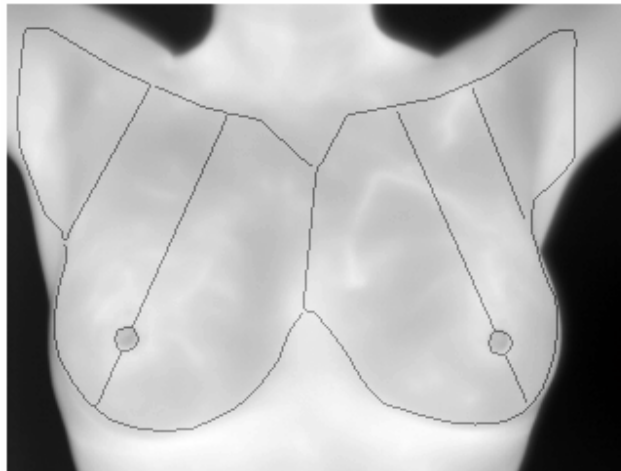


Figura D.1. Registro frontal idóneo

En la figura D.1 se muestra la vista frontal de una mujer que cumple con la mayoría de las recomendaciones. Se nota el espacio de fondo entre los hombros y cuello y además que los senos cubren casi toda la termografía.

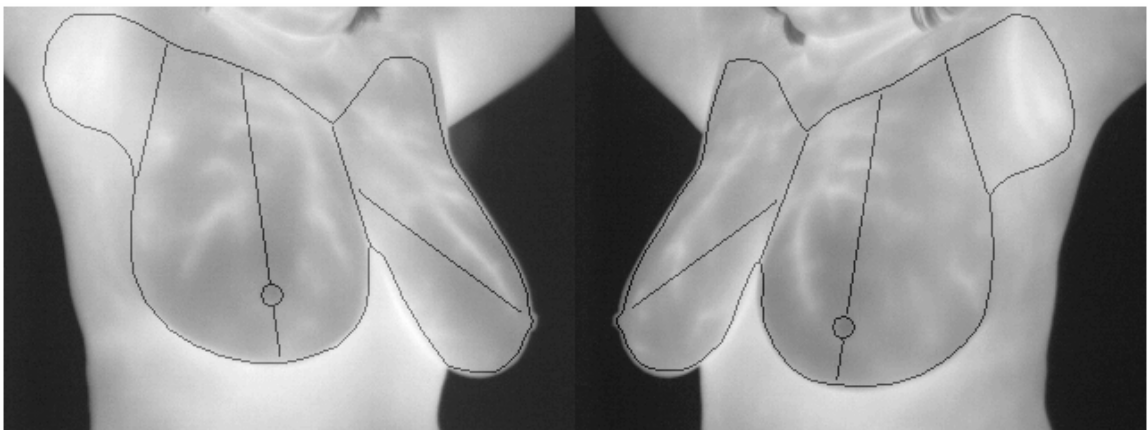
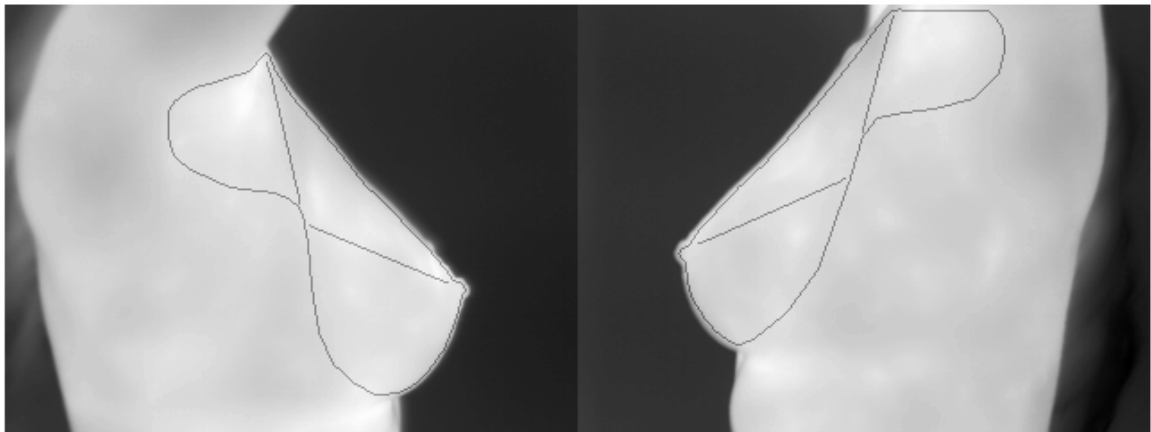


Figura D.2. Registros oblicuos bien tomados

En la figura D.2 se ilustran 2 tomas oblicuas tomadas sobre la misma mujer, estas tomas cumplen en su mayoría las recomendaciones y se consideran tomas bien realizadas. Notar que el seno lejano sale de perfil sin que el seno cercano lo cubra, además de que el pezón del seno cercano tiende a dirigirse a la cámara.



a) Bien tomado

b) Mal tomado

Figura D.3. Registros Laterales

En la figura D.3 se ilustra las dos tomas laterales de una misma mujer, en la que se muestra que la gráfica de la izquierda o vista lateral derecha se puede decir que está bien tomada porque sale toda el área de interés, aunque se prefiere que mantenga la espalda recta. La gráfica derecha ilustra la toma izquierda, en la cual no sale completa la axila, para esto se recomienda que aparezca una parte del brazo.

D.2. Registros termográficos oblicuos idóneos

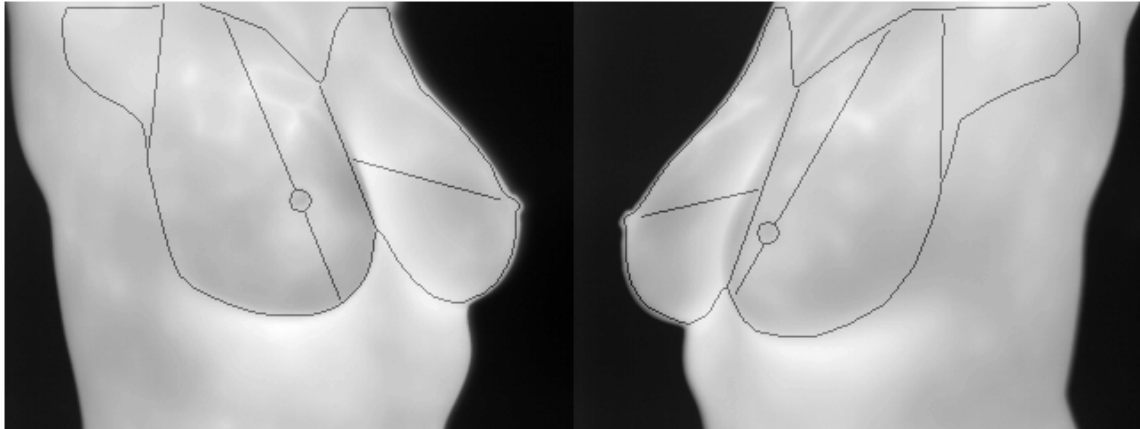


Figura D.4. Registros oblicuos mal realizados.

En la figura D.4 se ilustran dos vistas oblicuas que no cumplen las recomendaciones y están mal tomadas, la gráfica de la izquierda o perspectiva oblicua derecha, no enfoca completamente la axila cercana, y el seno cercano tapa levemente la línea del esternón, lo que hace que en la máscara ese punto que divide los 2 senos quede muy abajo. En la gráfica de la izquierda el seno cercano tapa en mayor proporción al seno lejano y el punto de división queda más abajo por lo que la sub-división es peor.

E. TUTORIAL SOBRE USO DE INTERFAZ GRÁFICA

A continuación se hace una breve explicación del manejo que se ha de hacer sobre el algoritmo de EXTRACCIÓN DE DESCRIPTORES EN IMÁGENES TERMOGRÁFICAS DE LAS GLÁNDULAS MAMARIAS, implementado en la plataforma Guide de MATLAB r2007b.

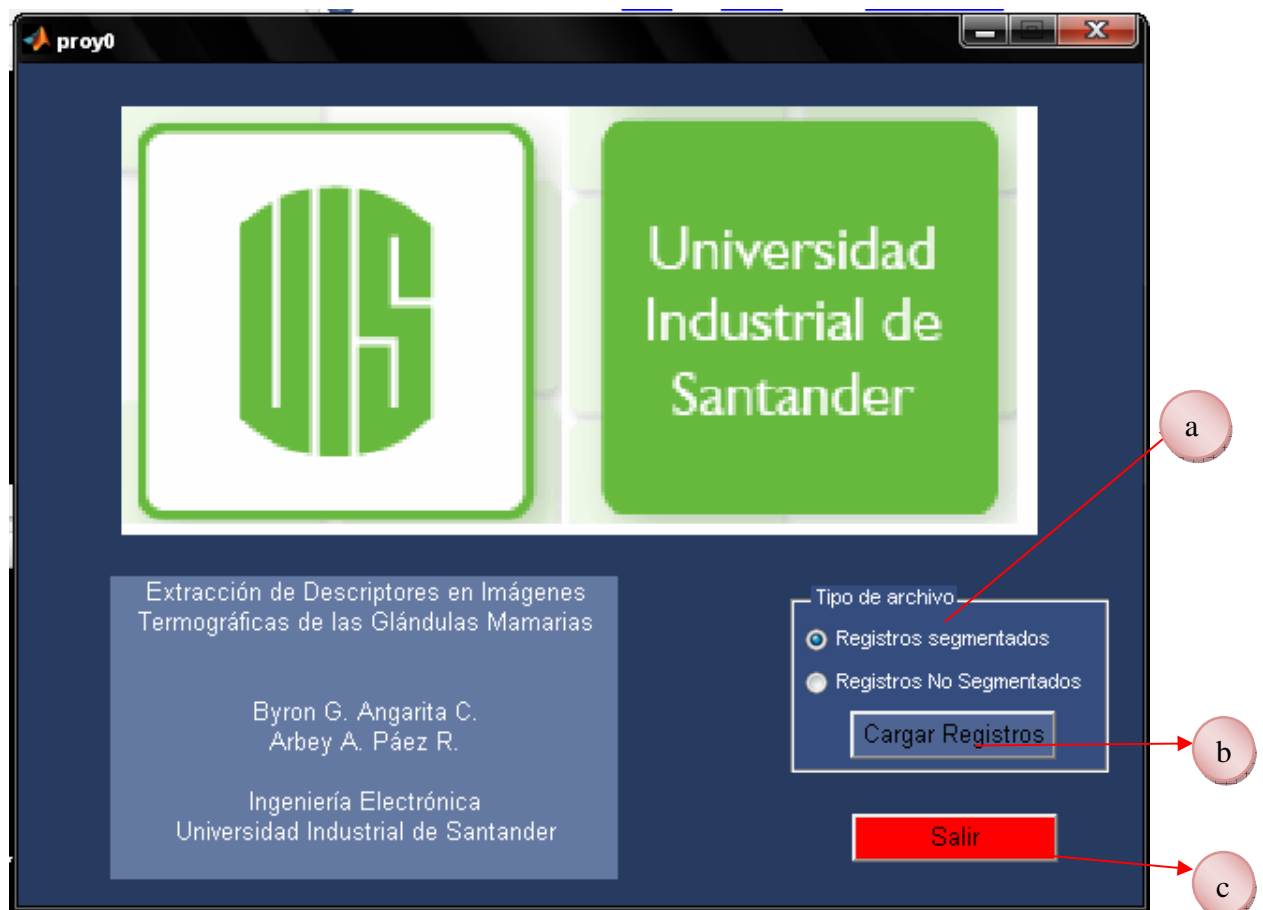


Figura E.1. Ventana de inicio

En la ventana de inicio, vista en la figura E.1, se observa información acerca del trabajo y sus autores, y también un botón (c) que presenta la opción de cerrar la

aplicación; un poco más arriba se tiene menú (a) donde se puede indicar la forma en que se encuentran almacenados el registro de cada paciente, ya sea una estructura creada por medio de MATLAB® y que contiene las máscaras de las segmentaciones manuales, o bien una carpeta con los cinco termogramas de cada paciente (uno por cada vista de observación).

Al dar click en (b) “Cargar registros” aparece el explorador de su computador como el que aparece en la figura E.2, con el cual podrá navegar en el hasta encontrar la carpeta (a) que contiene los termogramas deseados.



Figura E.2. Explorador de Computador

No es muy diferente si se escoge la opción “Cargar registros” segmentados, solo que se busca un archivo .mat que contenga la estructura del registro a analizar y no una carpeta.

E.1. Visualización y/o realización de la segmentación inicial

Luego de cargar los archivos, ya sea que estén segmentados previamente o que solo estén los termogramas, aparece una ventana como la de la figura E.3, donde

se pueden observar las vistas frontal, oblicuos y laterales en (d), (e) y (f) respectivamente.

El nombre con el cual es guardada el registro de la paciente aparece en el recuadro marcado con (a).

El programa permite cambiar de registro a procesar sin necesidad de volver a la ventana inicial gracias al panel de opciones “Tipo de Archivo” observado en (b).

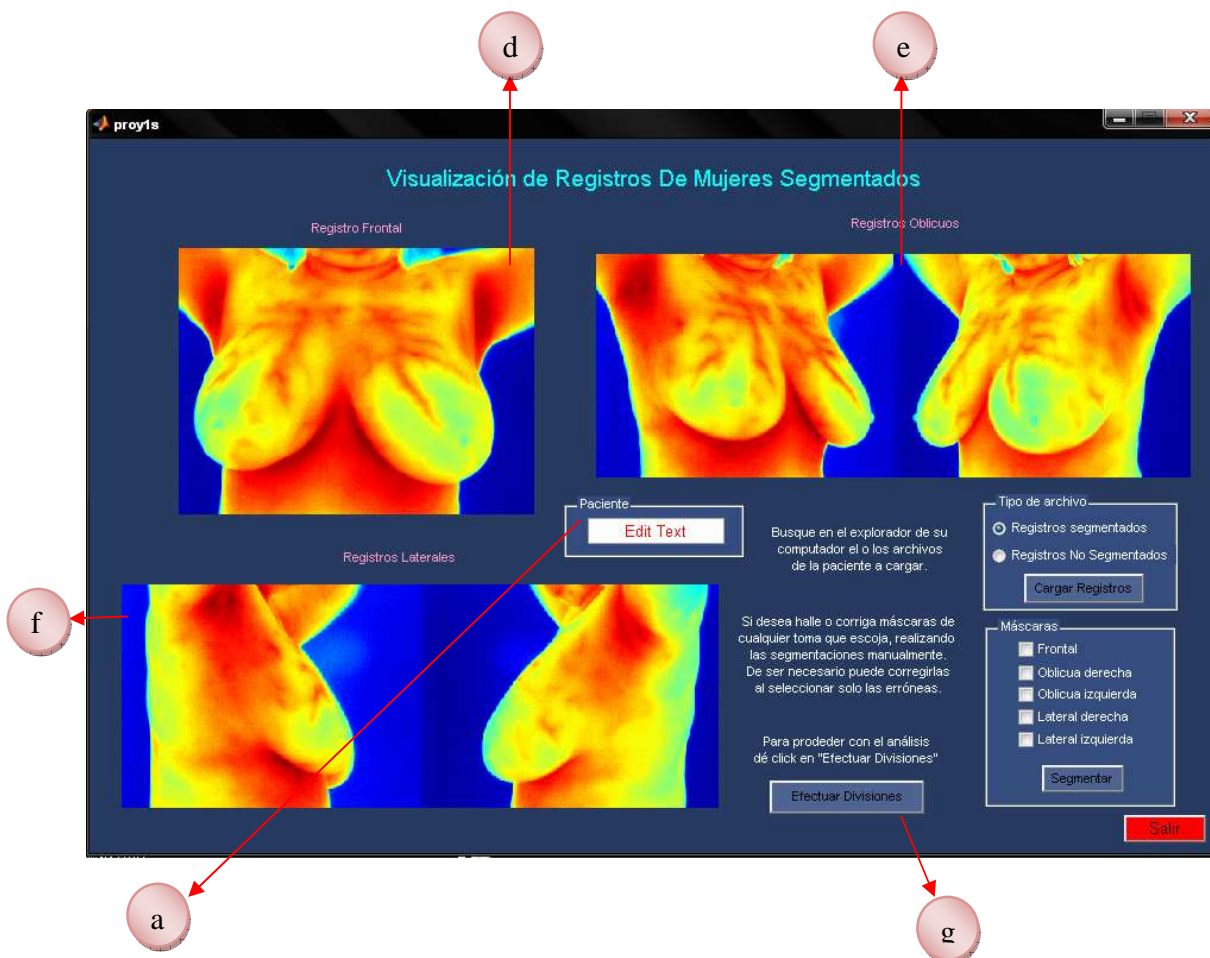


Figura E.3.a Visualización de los termogramas y sus segmentaciones iniciales

En caso de que se haya decidido procesar un registro que no este en una estructura tipo .mat o que alguna de las máscaras de las segmentaciones presente errores, se puede realizar la segmentación inicial por medio del botón “Segmentar” que está en el panel “Máscaras” señalado en (c). Al escoger esta

opción aparece una ventana como la mostrada en la figura E.4, en la cual debe de dibujar la máscara gracias a un polígono cuyos puntos son limitados por el tamaño de la figura y colocados cada uno con un click en el botón izquierdo del puntero, para cerrar la figura basta darle click en el botón derecho del puntero antes de indicar nuevamente el punto inicial. Luego dentro de la máscara debe dar click derecho y escoger la opción “Create Mask”.

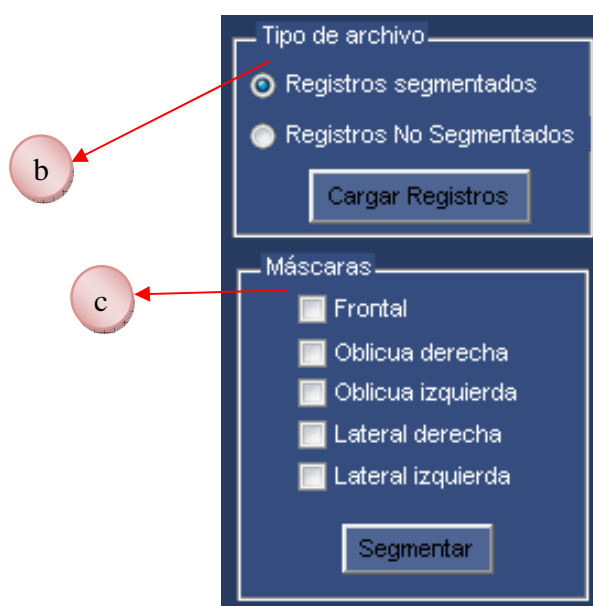


Figura E.3.b Opciones para cargar archivos y realización de máscaras

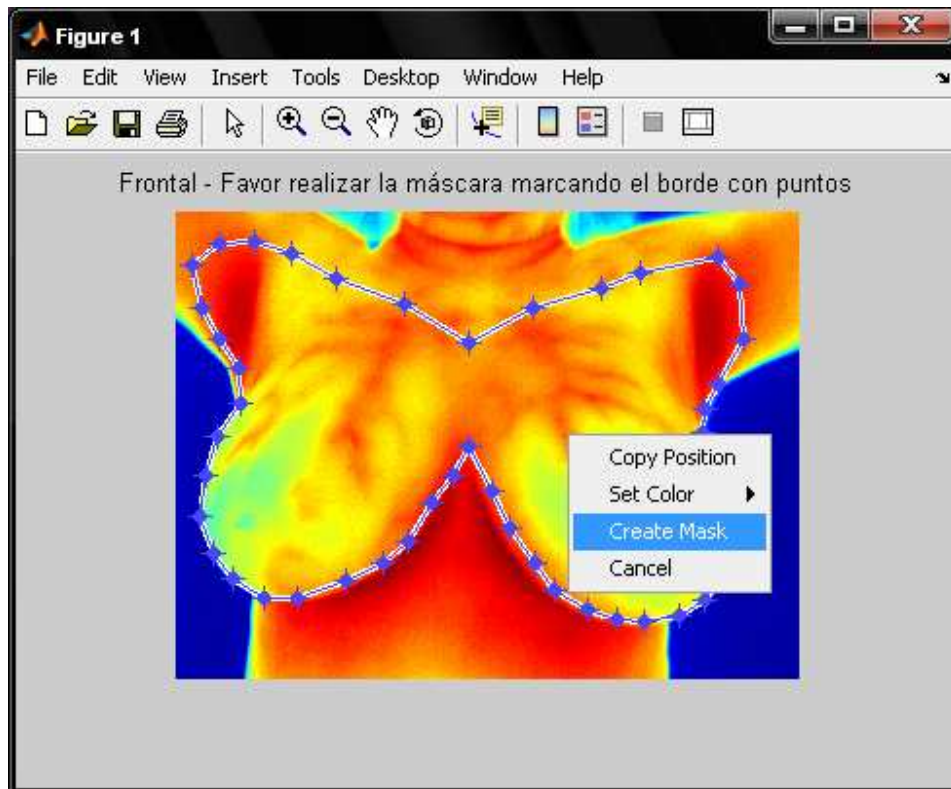


Figura E.4. Creación de la máscara para segmentación inicial.

El siguiente paso después de realizar la totalidad de las segmentaciones como se ve en la figura E.5, es efectuar las divisiones de cada una de las vistas del registro, este procedimiento lo hacen algoritmos donde, en algunas ocasiones se pide al usuario indicar ciertas ubicaciones que por lo general no son detectables por el programa ya sea por la naturaleza de la paciente o por errores en el proceso de registro. Para realizar las divisiones basta con dar click sobre "Efectuar Divisiones" (g) y seguir las instrucciones en caso de que se den.

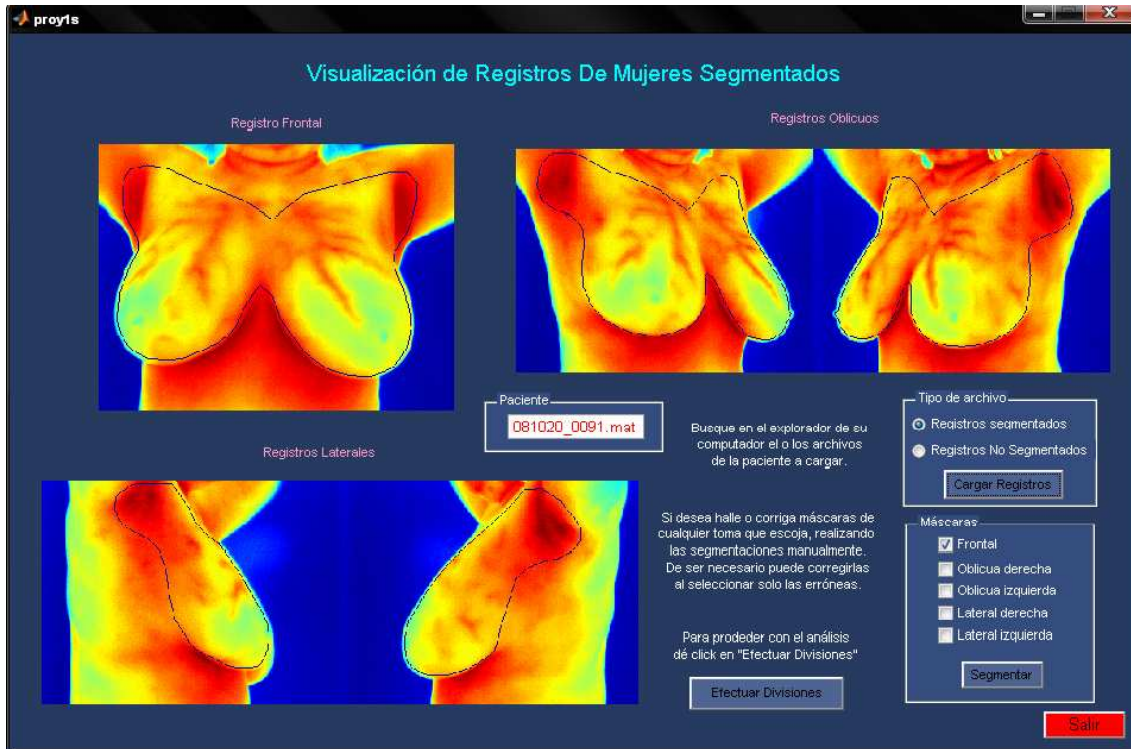


Figura E.5. Visualización del registro segmentado.

E.2. Visualización de las divisiones

Una vez el algoritmo culmine con las divisiones se muestra la ventana vista en la figura E.6, donde aparecen algunas instrucciones y comentarios importantes señalados con (c) que son de ayuda para proseguir con el procedimiento.

En el panel “Descriptor” (b) se debe de escoger que tipo de análisis se desea llevar a cabo.

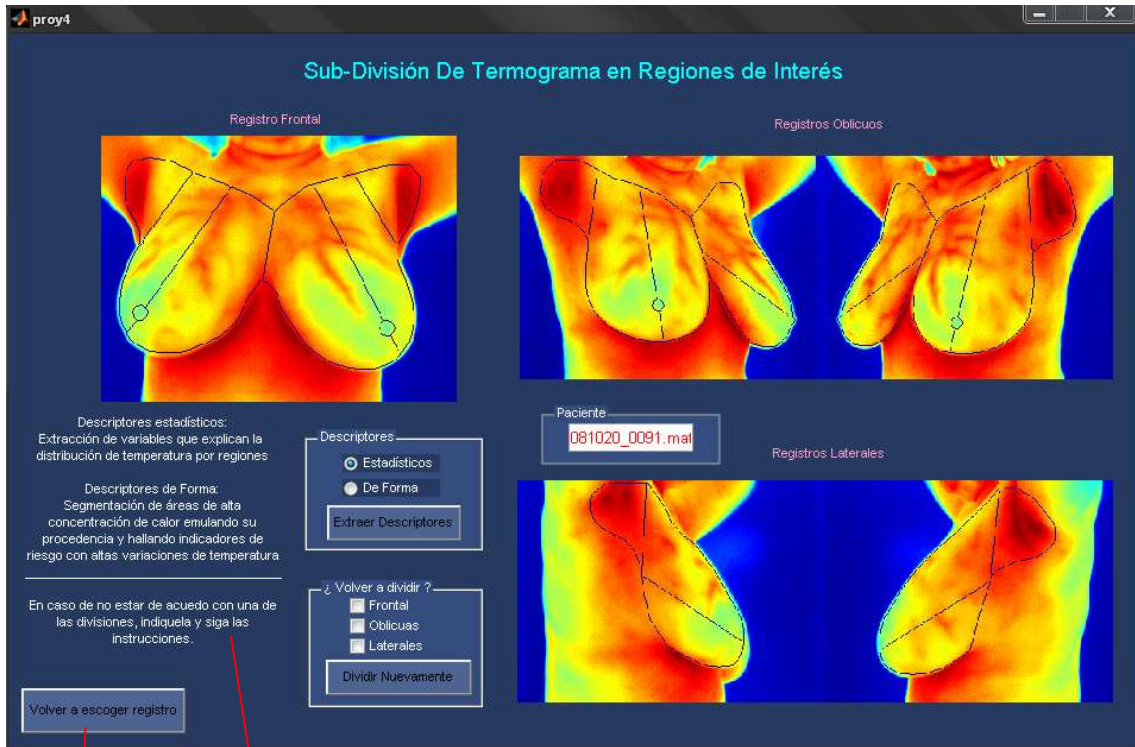


Figure E.6.a Resultados de las divisiones

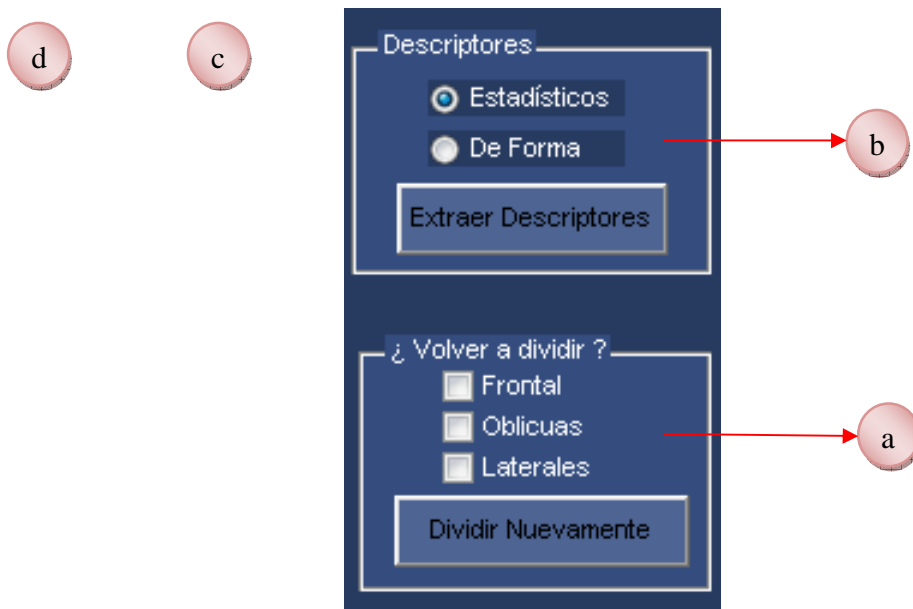


Figura E.6.b Opciones para escoger descriptores y realizar divisiones.

Si el algoritmo muestra en pantalla divisiones que no corresponden a la realidad, y que pueden ser motivadas por factores que no se explicarán ahora, se tiene una segunda opción en el panel “¿Volver a dividir?” (a), en el cual se escoge la vista sobre la cual se desea hacer de nuevo la división.

Por último se puede mencionar el botón “Volver a escoger registro” (d) con la cual puede regresar a la ventana vista en la figura E.5.

E.3. Visualizaciones de descriptores estadísticos

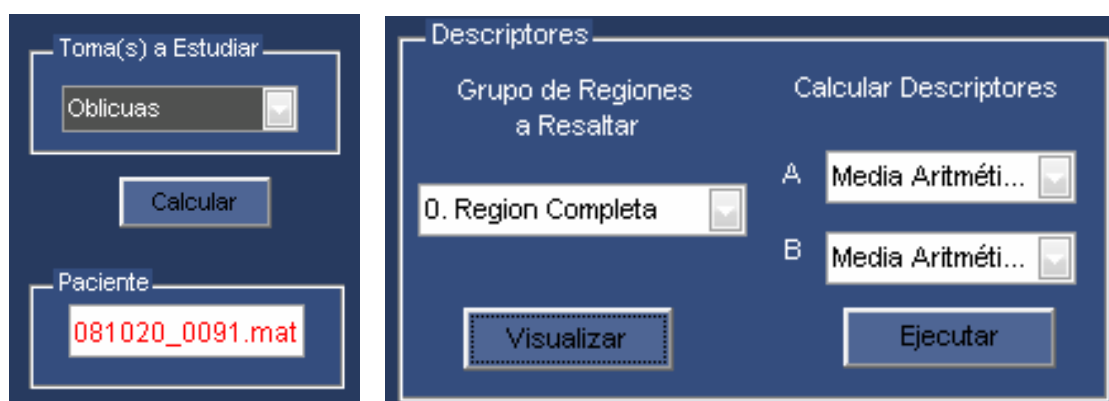


Figura E.7.a Opciones para escoger vista de análisis, región a describir y descriptores a aplicar.

Al escoger descriptores estadísticos vistos en la figura E.6.b, aparece una ventana como la observada en la figura E.7.b, donde en la parte superior y media derecha (a) se tienen los resultados del descriptor escogido en el panel “Descriptores” (figura E.7.a) según la asignación de cada recuadro por sus letras A y B y también por cada región o grupo listado sobre la horizontal de cada gráfica. Para visualizar a que región corresponde cada índice ubicado sobre la horizontal de las gráficas (a) se procede a ir nuevamente a el panel “Descriptores” y escoger del menú

desplegable la región de interés, luego da click en visualizar para resaltar las regiones seleccionadas según el color de las barras vistas en (a).

En (c) se puede observar la escala de temperaturas relacionadas con la gama de colores presentes en el termograma (d), donde se puede verificar la temperatura con tan solo un click izquierdo del puntero siempre que no se tenga resaltada alguna región.

En la parte superior izquierda de la ventana (ó figura 7.a)se tiene un menú desplegable que permite trasladar el análisis a otra vista del registro de la paciente.

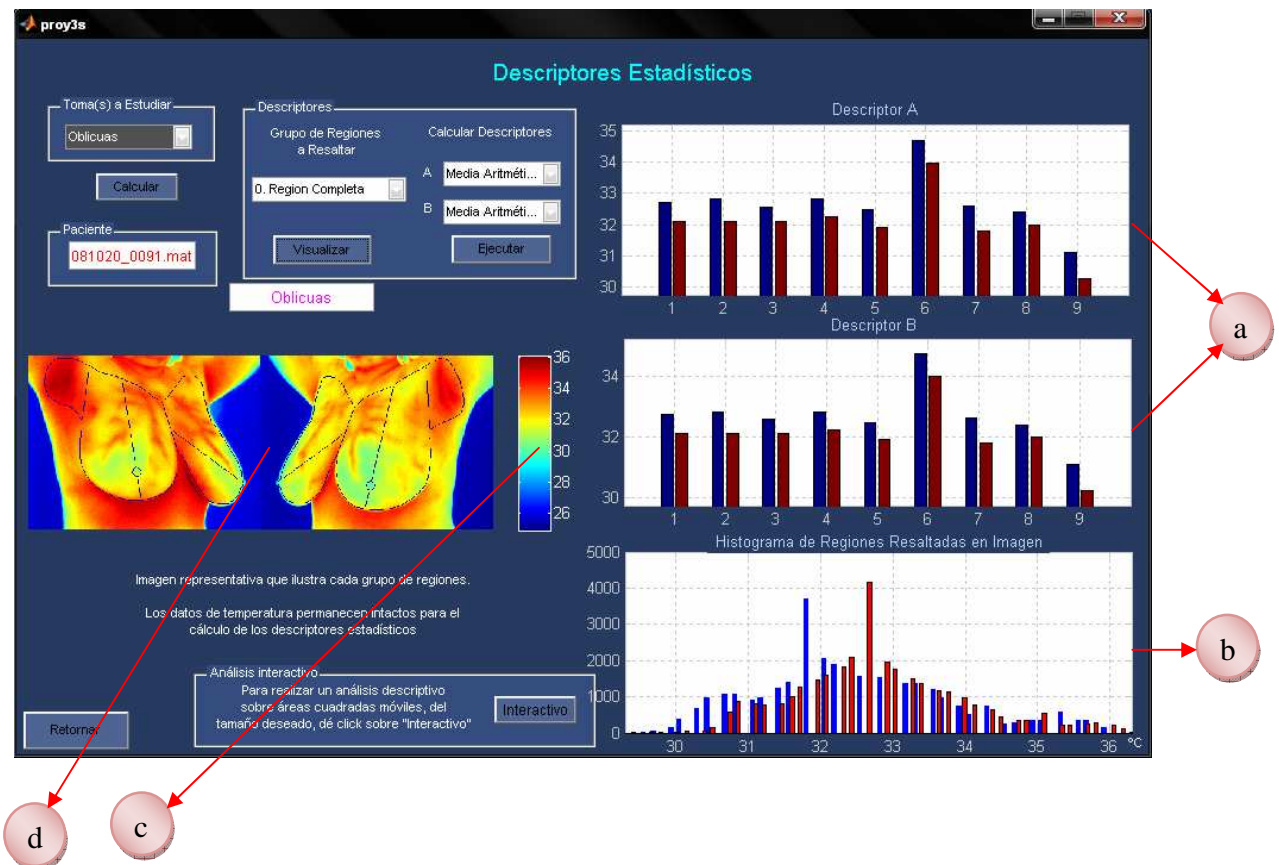


Figura E.7.b Descriptores Estadísticos

En la gráfica señalada con (b) se obtiene el histograma de la región resaltada en (d), aquí las distriuciones estan en el color indicado en la descripción de las variables (a) y en la gráfica (d).

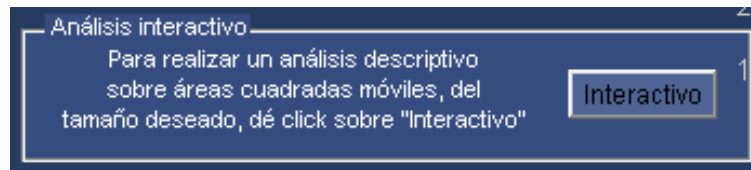


Figura E.7.c Opción de análisis interactivo

Estos descriptores no solo se limitan a extraerlos de las regiones halladas por el algoritmo, sino que también se presenta la opción de crear una máscara cuadrada móvil dando click sobre el botón del panel inferior "Análisis interactivo" (figura E.7.c). Al escoger esta opción aparece la ventana observada en la figura E.7.d.

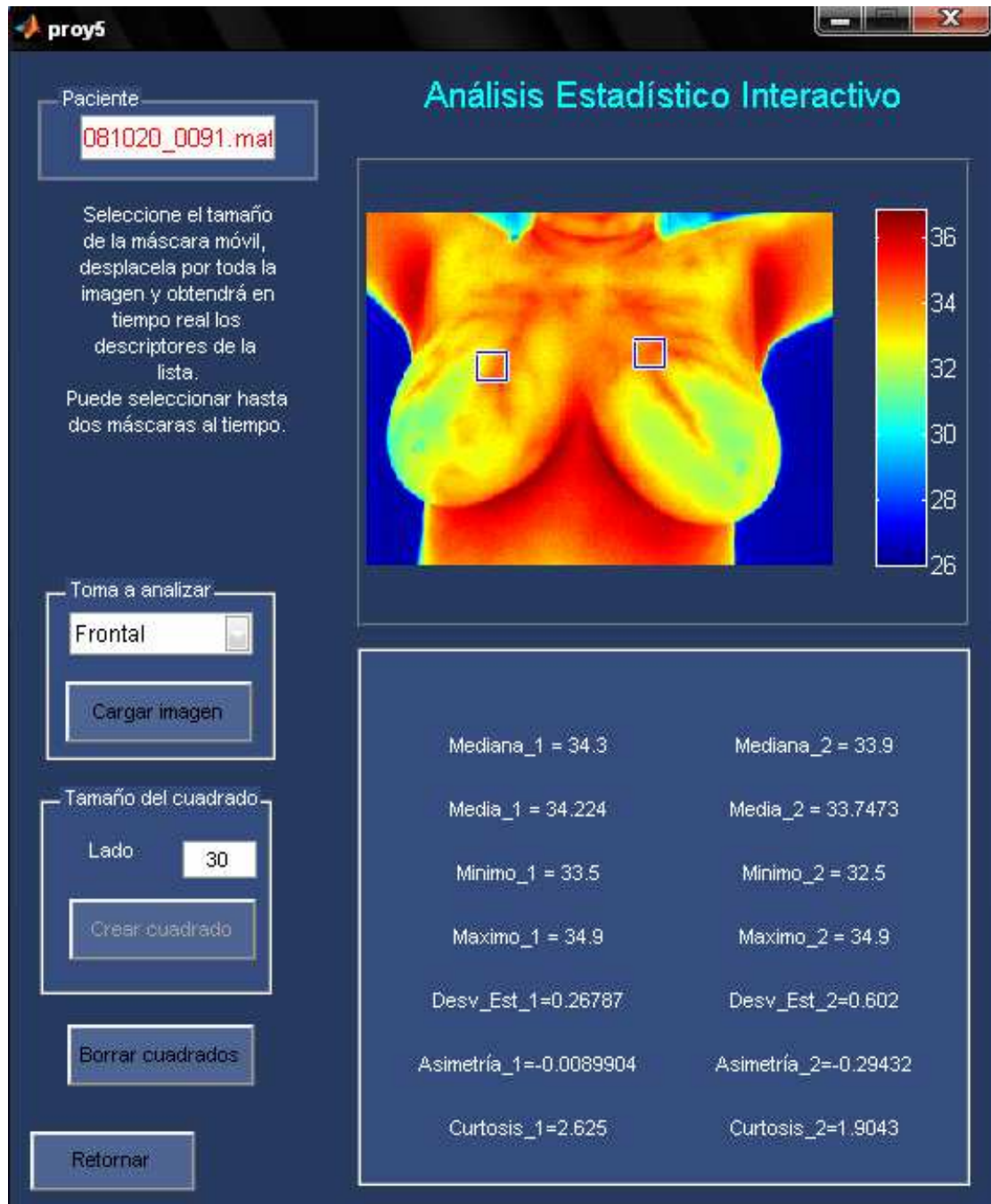


Figura E.7.d Análisis estadístico interactivo

En esta última ventana se puede cargar individualmente cualquier vista del registro analizado, luego se crea un cuadrado cuyo lado está dado en píxeles, este cuadrado puede ser movido por acción del puntero, lo que permite que en el panel

inferior derecho se pueda ver en tiempo real las variables estadísticas mencionadas.

E.4. Visualización descriptores de forma

Al estar en la visualización de divisiones y escoger descriptores de forma se presenta una ventana como la de la figura E.8.a.

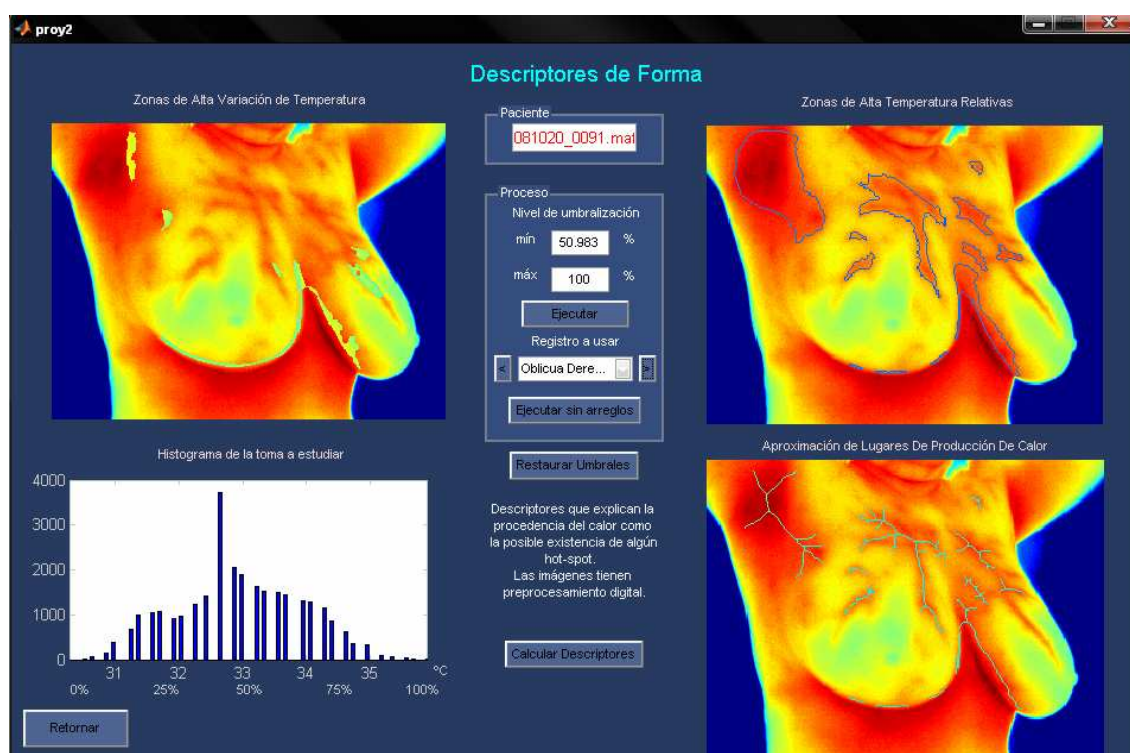


Figura E.8.a Descriptores de forma

Las opciones presentadas para este tipo de análisis se encuentran en la parte central de la ventana (figura E.7.b), en las cuales se puede definir un margen de umbralización para observar donde están ubicadas las regiones con la temperatura indicada en dicho umbral. Para asociar los valores porcentuales a las temperaturas, se cuenta también con un histograma ubicado en la parte inferior izquierda de la ventana.

La opción ejecutar sin arreglos se refiere a hallar zonas de alta temperatura tomando solo el primer nivel de umbralización mencionado en el capítulo 4.

Al cambiar entre una vista y otra el nivel de umbralización cambia según parámetros programados en el algoritmo, por lo tanto, si ese umbral es modificado a consideración del usuario, la opción “Restaurar umbral” ubica los niveles de umbralización automáticamente.

Paciente

081020_0091.mat

Proceso

Nivel de umbralización

mín 50.983 %

máx 100 %

Ejecutar

Registro a usar

Oblicua Dere...

Ejecutar sin arreglos

Restaurar Umbrales

Descriptores que explican la procedencia del calor como la posible existencia de algún hot-spot.

Las imágenes tienen preprocesamiento digital.

Calcular Descriptores

Figura E.8.b Opciones para descripción.

Una vez definido los umbrales para detección de regiones de altas temperaturas y de altas variaciones de temperatura, se procede a dar click en “calcular descriptores” en donde se muestra al usuario la relación existente entre el tamaño de las regiones seleccionadas y el de la segmentación. Además se da la posibilidad de hallar algunos descriptores escogiendo la región gracias a la numeración que puede ser vista dando click con el puntero sobre las imágenes.

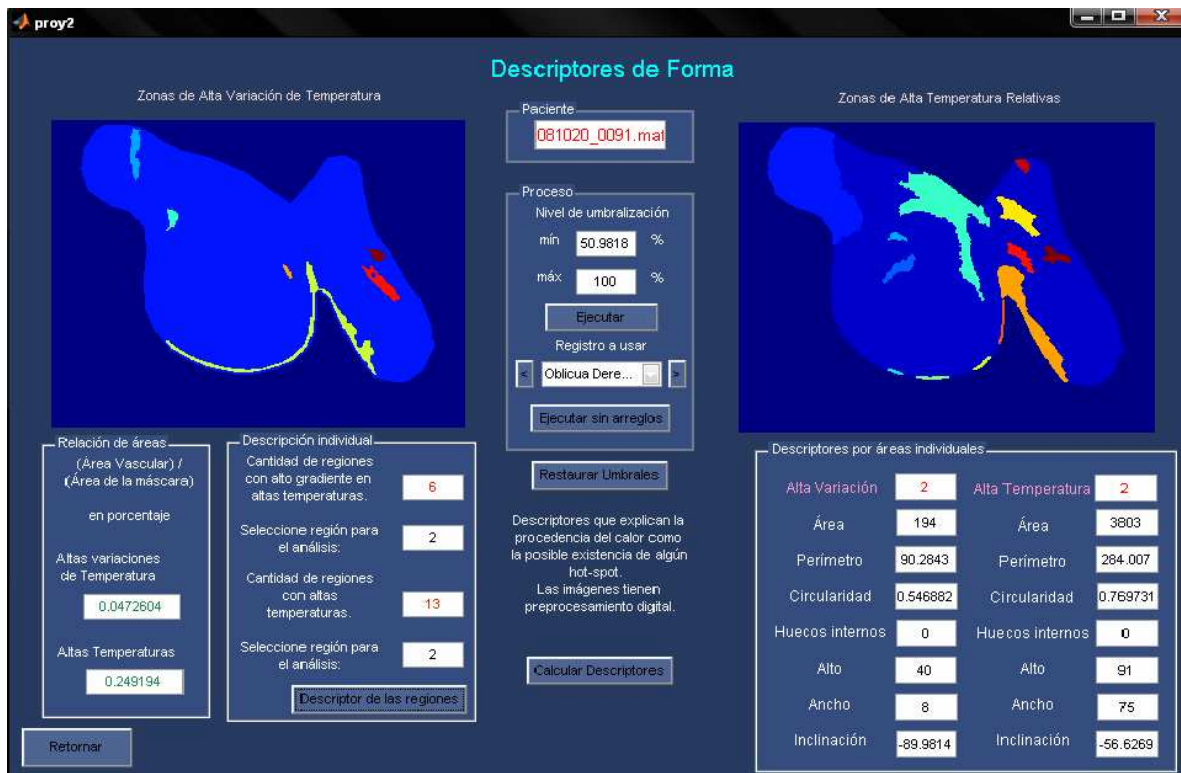


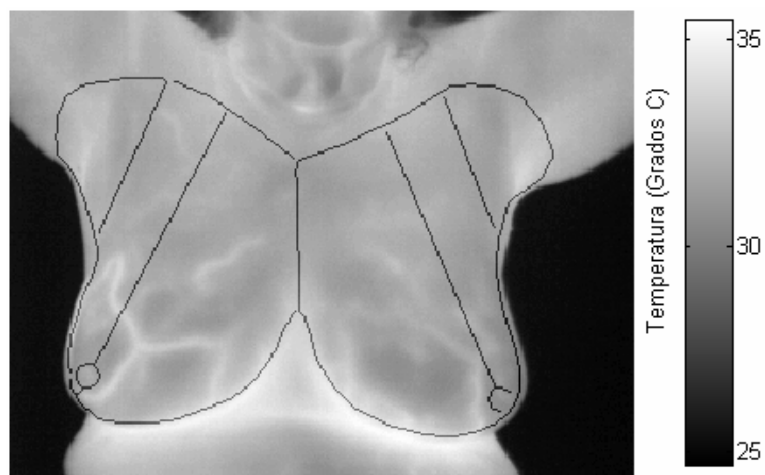
Figura E.8.c Descriptores de formas individuales

F. MUESTRA DE DESCRIPTORES EXTRAÍDOS

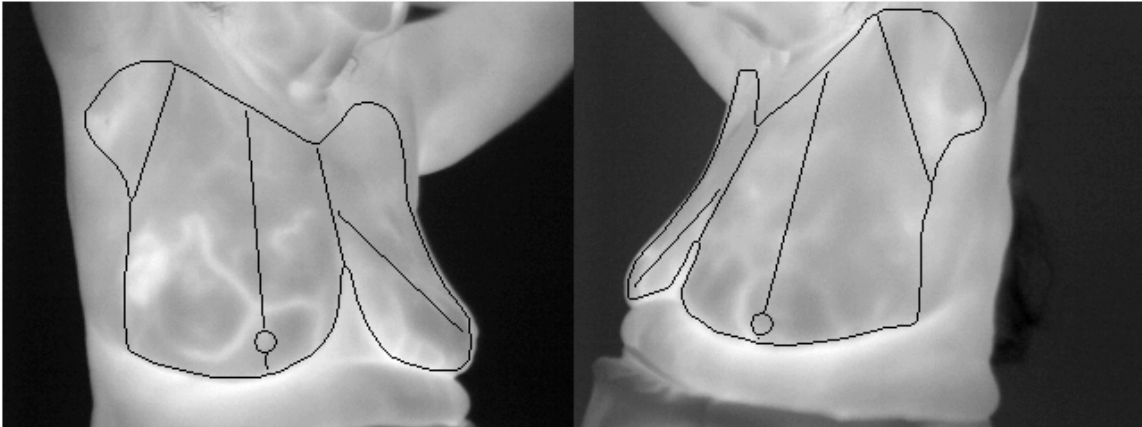
El proceso que comprende el tratamiento de imágenes realizado en este trabajo brinda descriptores extraídos de las regiones de interés en los termogramas de glándula mamaria. Estos descriptores fueron hallados con la mayor objetividad posible según las limitaciones propias de las características de las imágenes, y de las segmentaciones manuales previamente realizadas.

Se presentan dos pacientes diferentes como ejemplo para la muestra de descriptores.

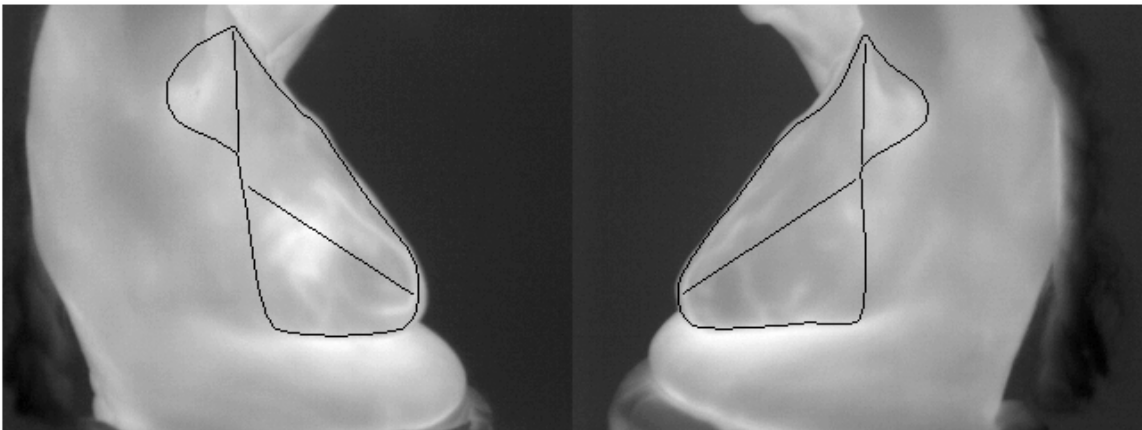
En las figura F.1 – F.6 se muestra el estudio hecho al registro de una paciente (primer ejemplo) de avanzada edad, de la cual se nombran algunas características que permiten describir su distribución térmica.



a) Vista frontal



b) Vistas oblicuas



c) Vistas laterales

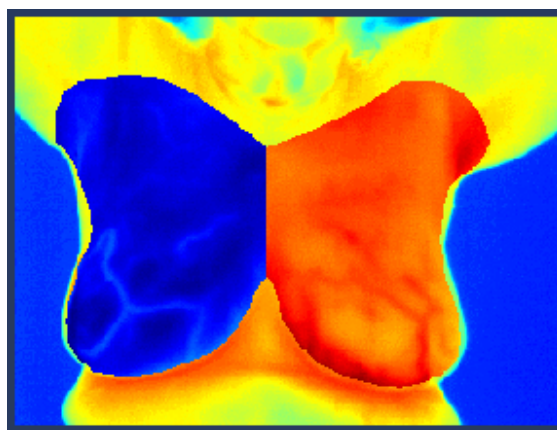
Figura F.1. Registro de una paciente (vistas en su orden: frontal, oblicua derecha e izquierda, lateral derecha e izquierda)

Para facilitar el análisis cada vista tiene una nomenclatura para organizar las regiones sub-divididas en pares simétricos, las cuales se listan en la tabla 4. Las regiones cercanas a la cámara termográfica se denotan con cercano(a), y las regiones lejanas con lejano(a).

Vista	Frontal	Oblicua	Lateral
Regiones enumeradas	1. Seno y axila	1. Seno lejano	1. Seno y axila
	2. Seno	2. Superior lejano	2. Seno
	3. Medial	3. Inferior lejano	3. Seno superior
	4. Lateral	4. Seno cercano y axila	4. Seno inferior
	5. Axila	5. Seno cercano	5. Axila
	6. Pezones	6. Axila	
		7. Medial cercana	
		8. Lateral cercana	
		9. Pezón cercano	

Tabla 4. Enumeración de regiones simétricas a comparar.

Para comenzar se realiza una visualización de los histogramas de los senos para cada vista, como se muestra en las figuras F.2, F.3, F.4. Nótese que la región resaltada en la imagen sirve para que el usuario identifique fácilmente las regiones a las cuáles se les grafica en falso color. Si el lector desea observar una ilustración real de temperatura debe ver la figura F.1. Así mismo, el histograma se exhibe con el mismo color que con el que se resalta la región obteniéndose así dos histogramas en una misma gráfica.



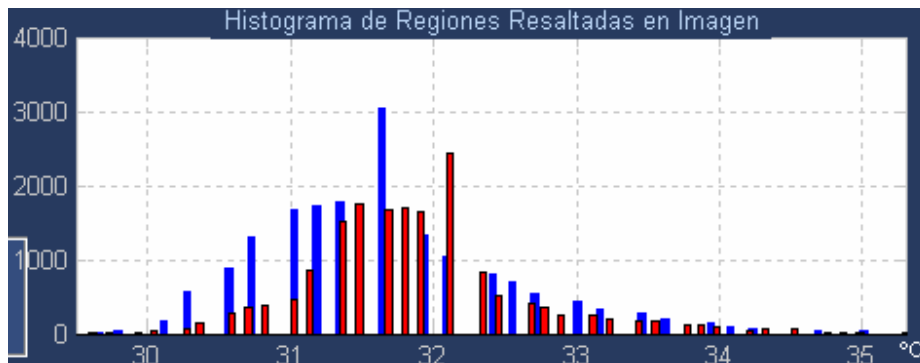


Figura F.2. Histograma de las regiones resaltadas en la vistas frontal (los colores sobre la imagen no indican temperatura)

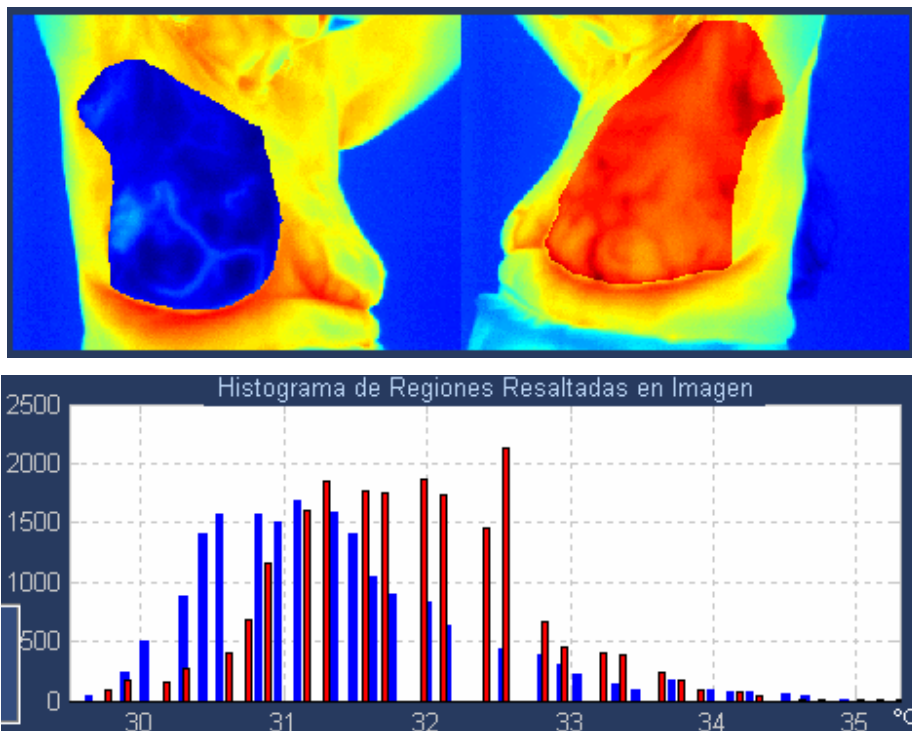


Figura F.3. Histograma de las regiones resaltadas en las vistas oblicuas (los colores sobre la imagen no indican temperatura)

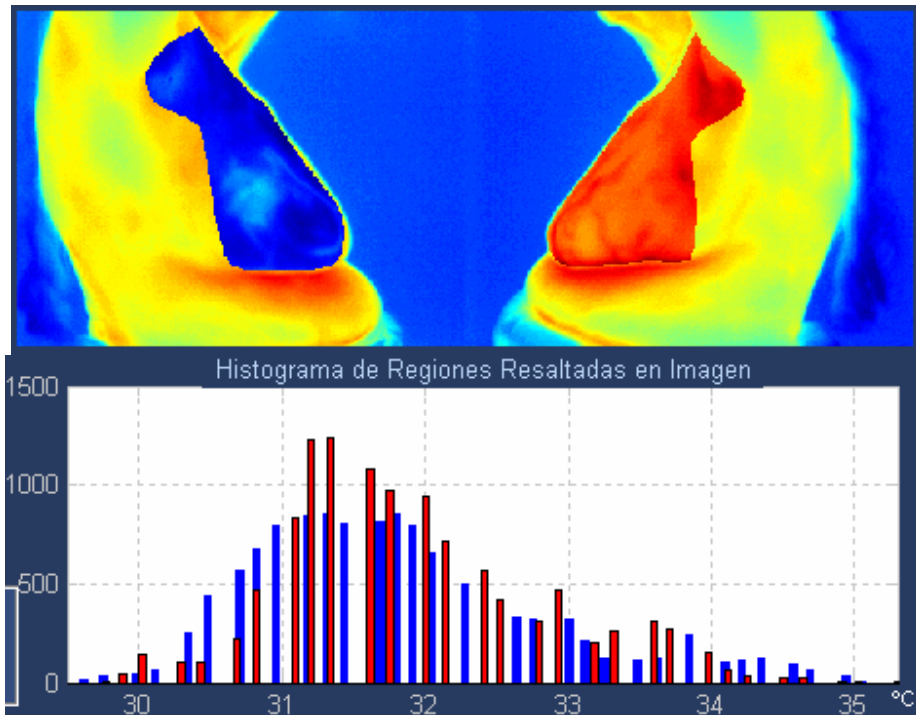


Figura F.4. Histograma de las regiones resaltadas en las vistas laterales (los colores sobre la imagen no indican temperatura)

Al realizar una observación preliminar sobre las regiones más calientes representadas en los histogramas (aproximadamente entre 34 y 35 °C), se nota que en las vistas laterales existe mayor información sobre estas temperaturas, qué son las que representan mayor peligro por la vascularización que produce un tumor.

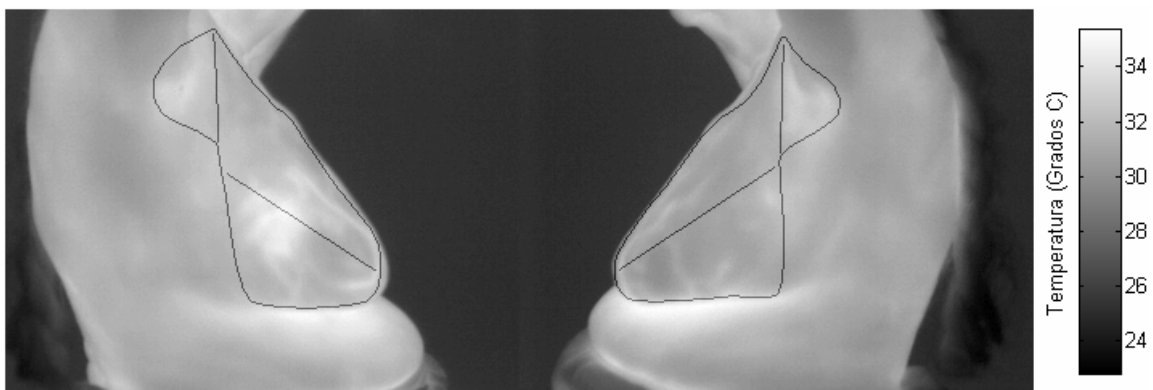
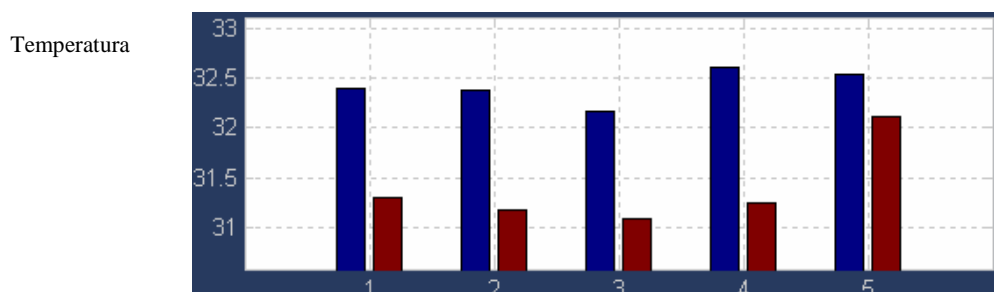


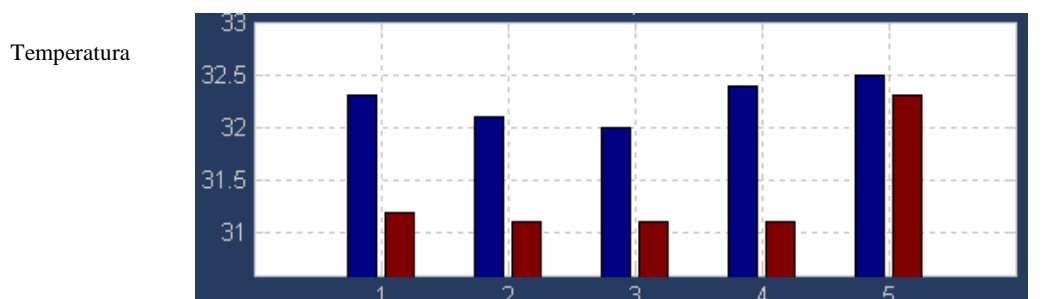
Figura F.5 Termogramas de vistas laterales con sub-divisiones.

Se escogen las vistas laterales presentadas en la figura F.5, para realizar una descripción estadística de la distribución térmica presentada, la cual es mostrada en un gráfico de barras en la figura F.6 (las barras presentadas en cada una de las variables corresponden a la región derecha en azul, y a su contraparte izquierda en rojo).

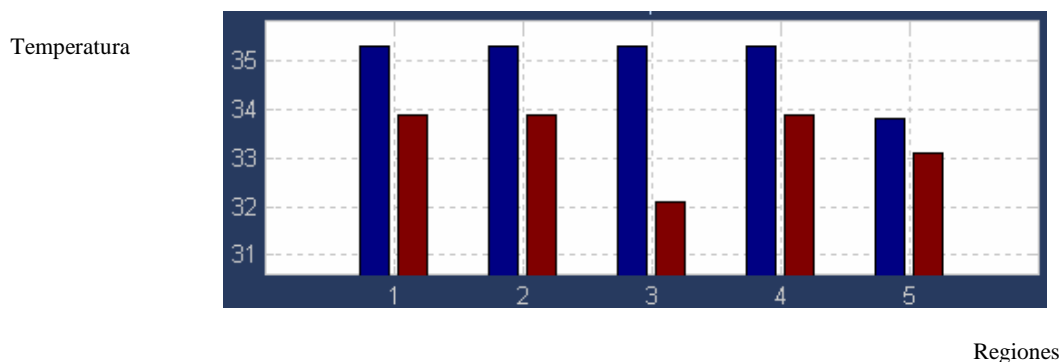
a) Media Aritmética



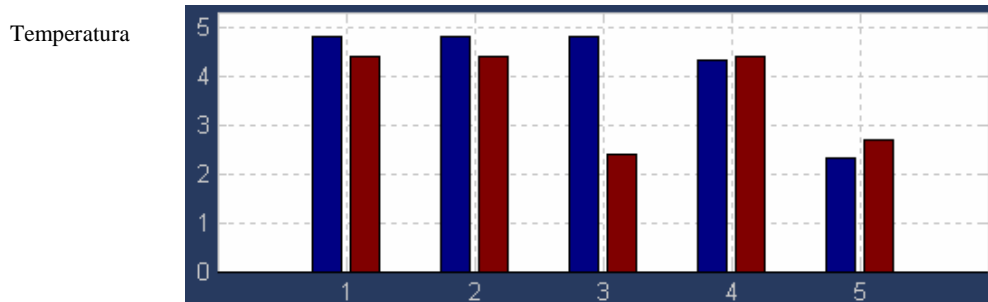
b) Mediana



c) Máximo

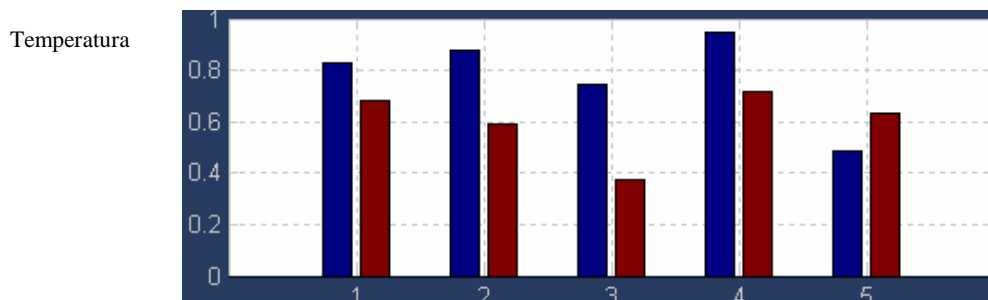


d) Rango



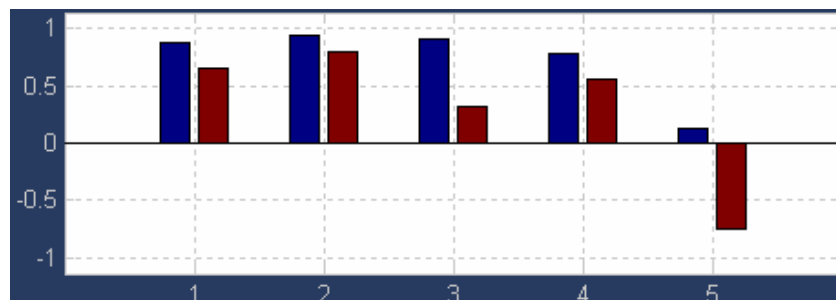
e) Desviación estándar

Regiones



f) Coeficiente de asimetría

Regiones



g) Curtosis

Regiones

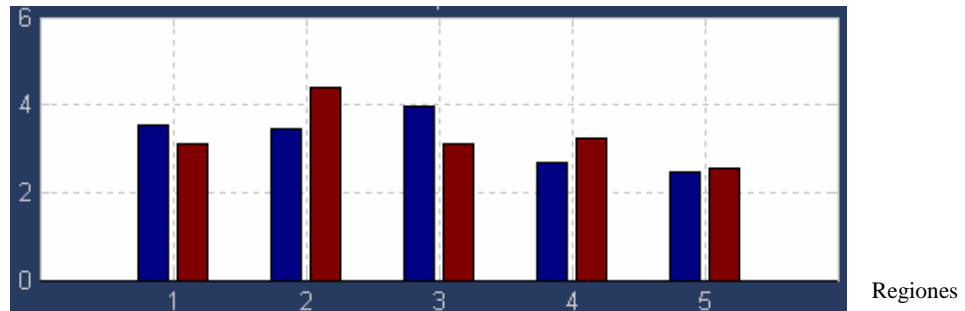


Figura F.6. Descriptores estadísticos hallados sobre las vistas laterales

Las barras asignadas al indicador número uno son las que describen la distribución de frecuencias vistas en el histograma de la figura F.4, las variables halladas para los demás indicadores corresponden a las regiones enumeradas en la tabla 4. Cuyos histogramas no son presentados en este ejemplo.

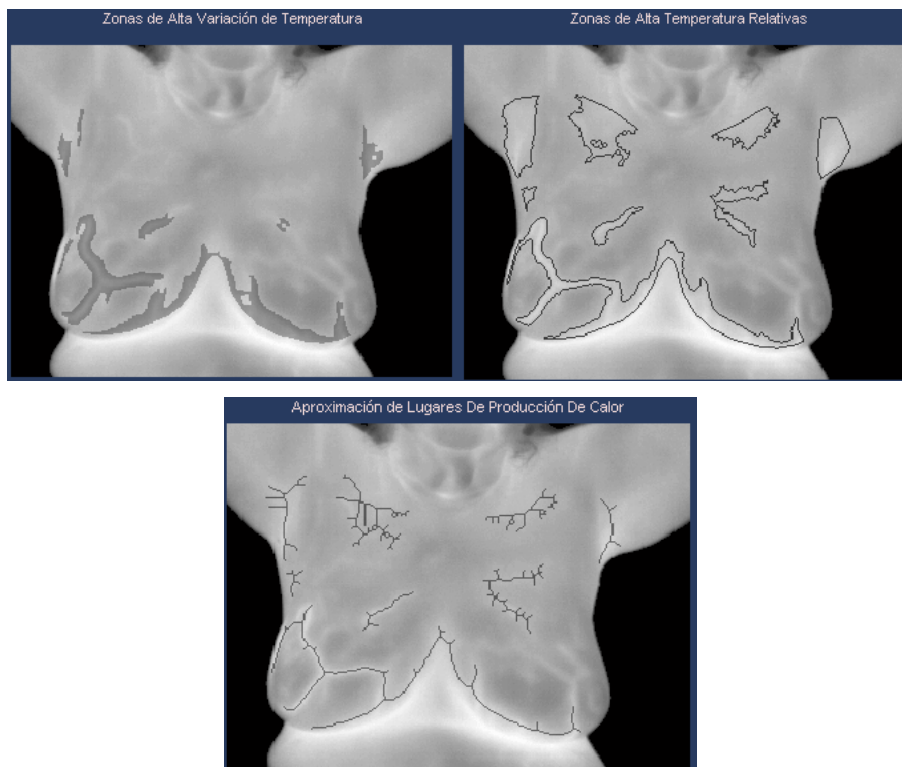
De los descriptores estadísticos mostrados en la Figura F.6. Se puede observar que variables como la media, la mediana y el máximo reportan una gran diferencia en los indicadores 1, 2, 3 y 4; lo que podría indicar una anomalía térmica.

En la Figura F.6.d se puede observar el rango de temperaturas de cada indicador de regiones comparativas, por ejemplo en el indicador 3 se muestra que el rango de la lateral derecha es mayor por más de 2°C. Hallando el valor mínimo indirectamente con el rango y el máximo para el tercer indicador, se puede notar que el valor mínimo para ambos es muy similar, lo que le da más peso al valor máximo de la lateral derecha.

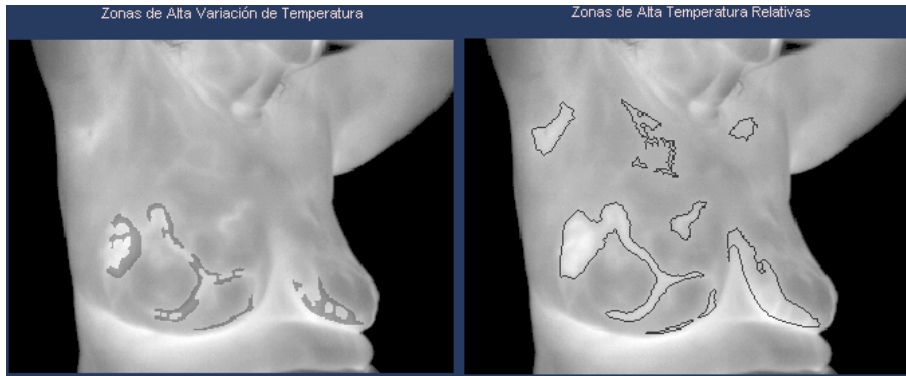
Otro detalle importante se obtiene al ver la asimetría, ya que indica la tendencia térmica de cada región, así por ejemplo en la región 5 (axila) se observa que la distribución de frecuencias de temperaturas de la axila derecha es poco sesgada, y su contraparte está bastante sesgada. Dato que posiblemente infiera en la clasificación de anomalías térmicas.

La curtosis en el primer indicador para ambas distribuciones tiene un valor cercano a 3, esto dice que la distribución tiende a tener una forma parecida a la distribución normal.

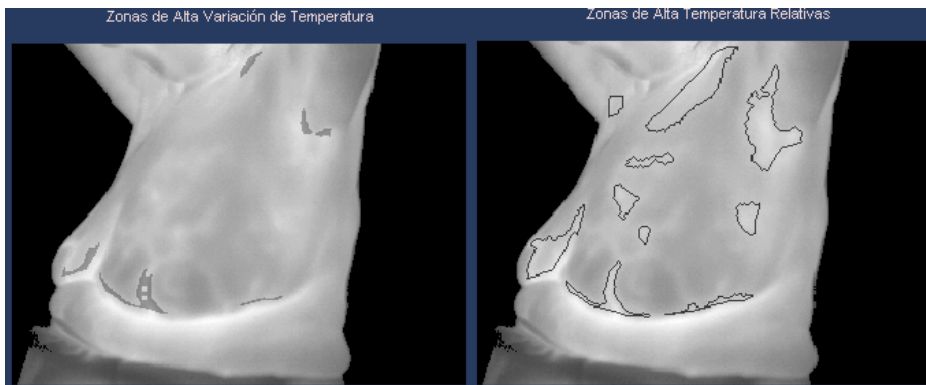
A continuación se presentan los descriptores de forma para la misma paciente. Se grafican las zonas de alta variación de temperatura y las zonas de alta temperatura relativas a la misma mujer. La representación esqueletizada de las zonas de alta temperatura se puede emular en el software que acompaña este trabajo (ver anexo E).



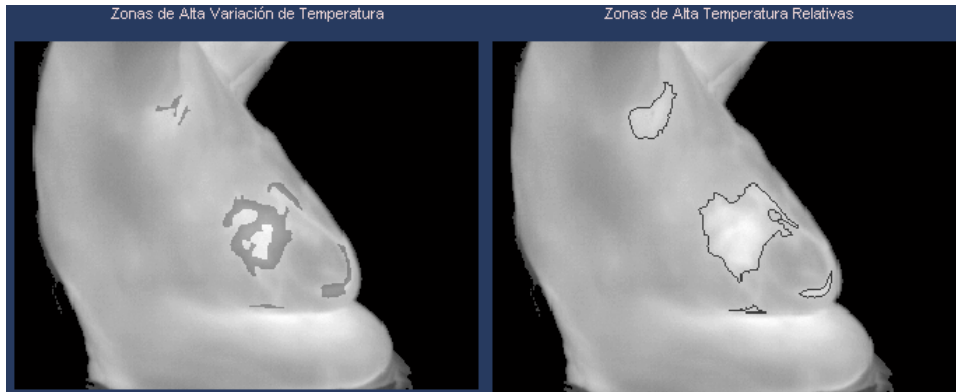
a) Vista frontal



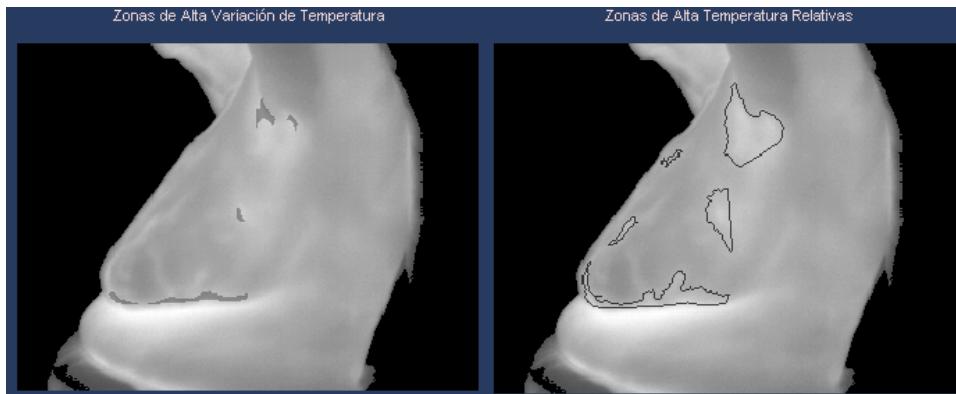
b) Vista Oblicua Derecha

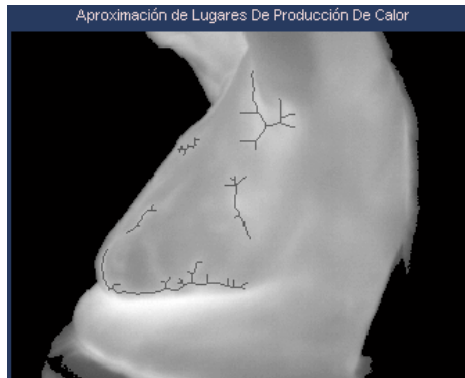


c) Vista Oblicua Izquierda



d) Vista Lateral Derecha





e) Vista Lateral Izquierda

Figura F.7. Visualización presentada sobre zonas de alta variación de temperatura, zonas de de alta temperatura y aproximación de lugares de producción de calor en un registro (primer ejemplo).

Visualmente hay mucha diferencia entre las zonas de alta temperatura encerradas en el seno derecho, en comparación con las temperaturas encerradas en el seno izquierdo.

Para analizar la descripción de forma de las áreas encerradas, de alta variación de temperatura o de altas temperaturas relativas se determinan las zonas a estudiar de la vista lateral derecha, (ver figura F.7.d.) región donde se ve pronunciada la anomalía térmica (apreciación subjetiva).

La representación etiquetada de las áreas se muestra en la figura F.8. En la cual se indica el valor de cada área a analizar.

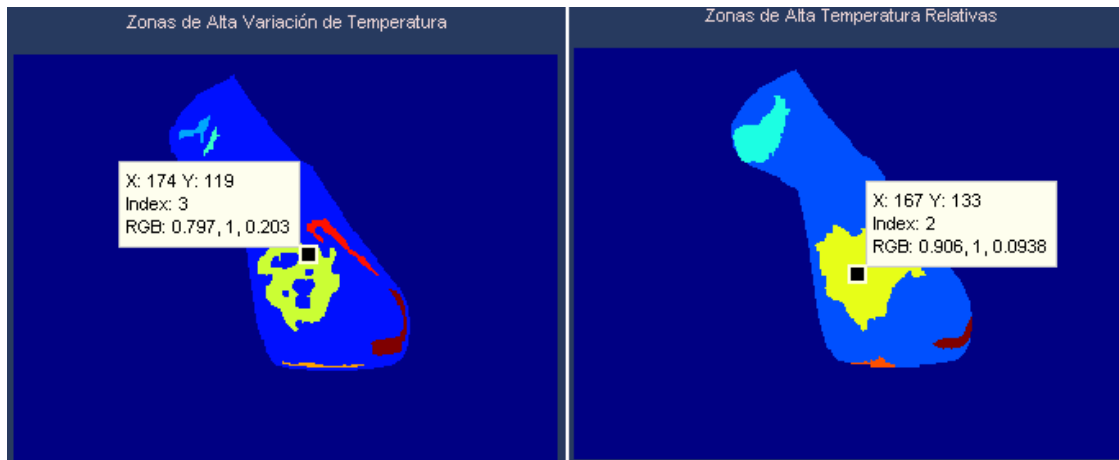


Figura F.8. Representación etiquetada de áreas de la primera paciente.

En la figura F.9 se muestran los datos generales de toda la región: relación de áreas en porcentaje, la cantidad de áreas y el área numerada a describir con variables básicas que describen su forma.

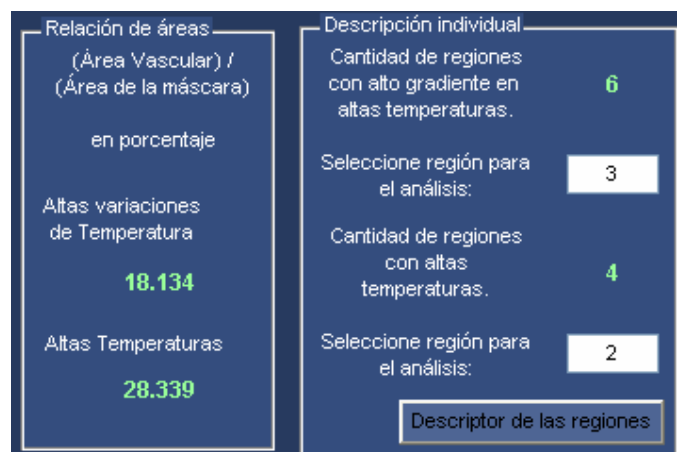


Figura F.9. Información general de las zonas de altas variaciones de temperatura y zonas de altas temperaturas.

En la figura F.10 se presentan los datos individuales de la región 4 en la imagen de zonas de altas variaciones de temperatura, y en la región 3 en la imagen de

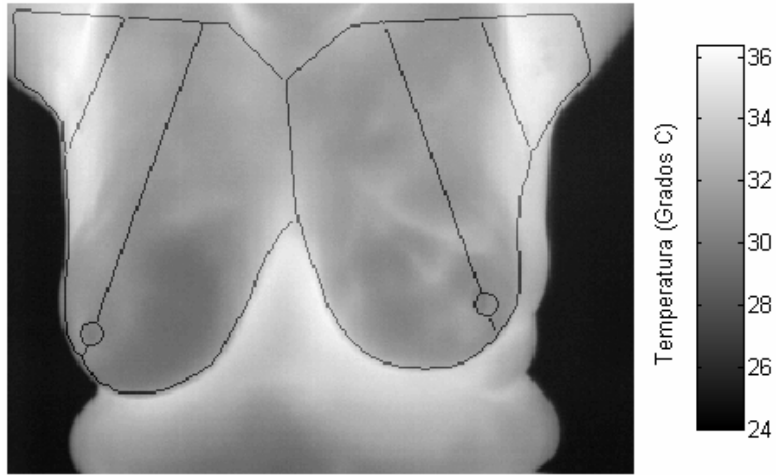
zonas de altas temperaturas relativas. Los datos numéricos se pueden observar en la gráfica.

Descriptores por áreas individuales			
Alta Variación	3	Alta Temperatura	2
Área (%)	12.317	Área (%)	20.653
Perímetro (%)	1.8	Perímetro (%)	2.359
Circularidad	0.643	Circularidad	0.635
Huecos internos	4	Huecos internos	1
Alto (%)	0.493	Alto (%)	0.589
Ancho (%)	0.415	Ancho (%)	0.597
Inclinación	-65.86	Inclinación	53.392

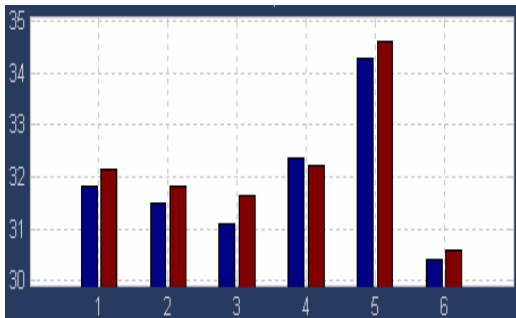
Figura F.10. Información general de las zonas de altas variaciones de temperatura y zonas de altas temperaturas de la primera paciente.

En un segundo ejemplo se presenta otra paciente, los descriptores estadísticos extraídos de la vista frontal, se presentan en las figuras F.11-F.13. Nuevamente, las barras presentadas en cada una de las variables corresponden a la región derecha del pecho, y a su contraparte izquierda respectivamente.

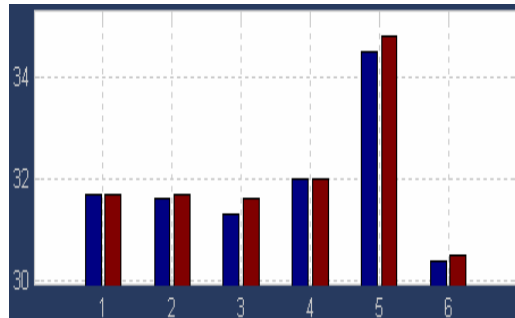
a) Termograma de vista frontal



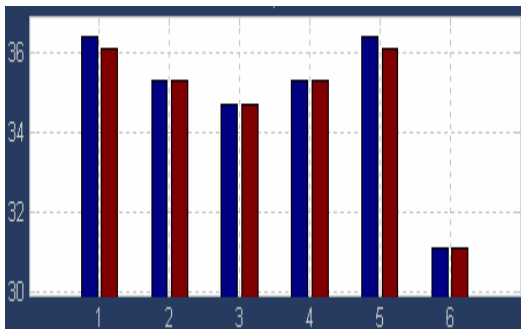
b) Media aritmética



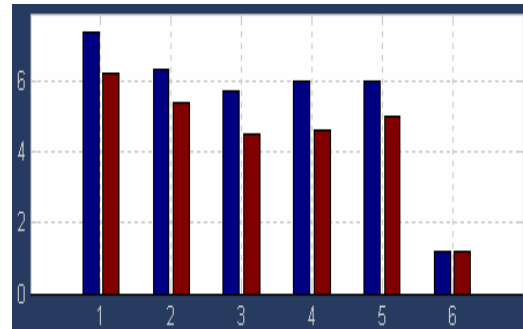
c) Mediana



d) Máximo

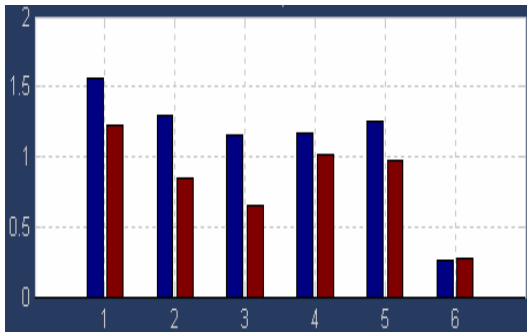


e) Rango

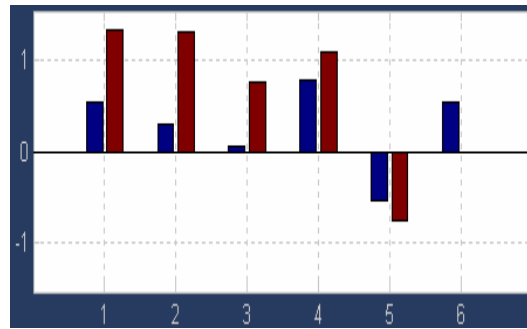


f) Desviación estándar

g) Coeficiente de asimetría



h) Curtosis



i) Histograma de toda la región

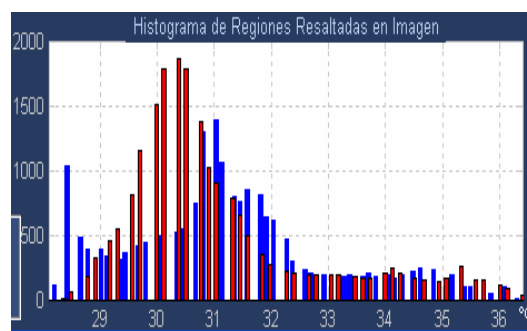
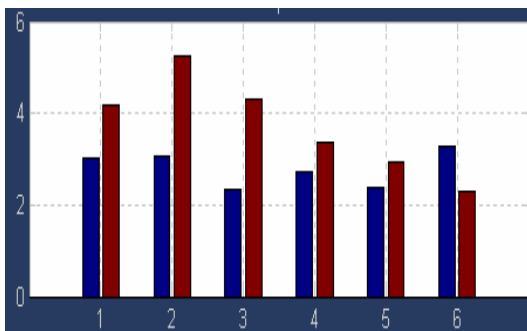
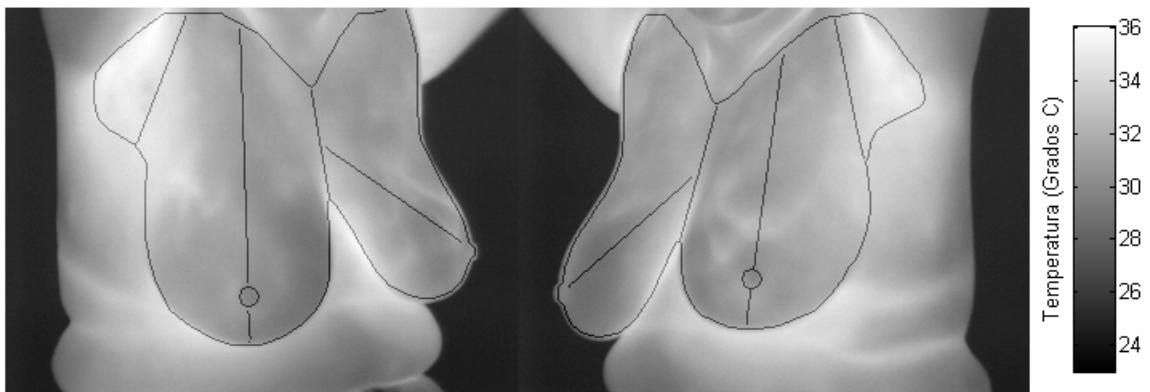
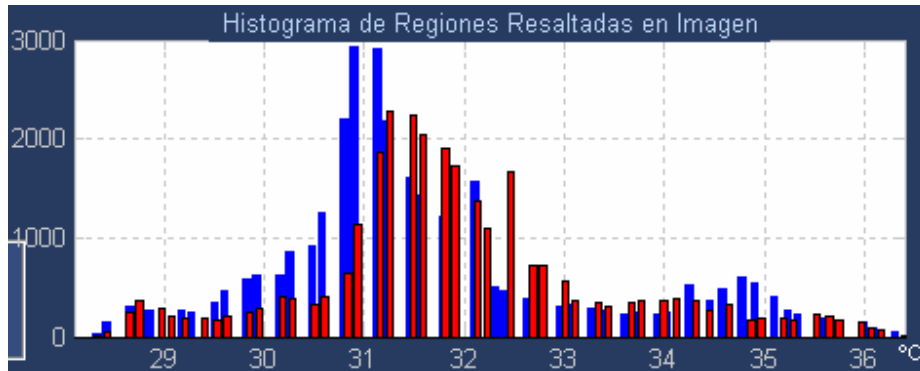


Figura F.11. Información estadística de la vista frontal de una mujer adulta.

También se presentan los termogramas de las otras cuatro vistas, con sus respectivos histogramas.

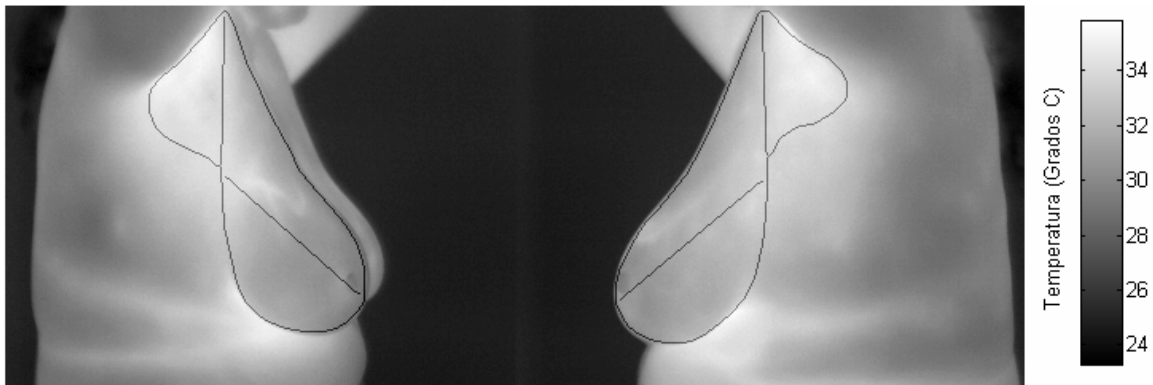


a) Termograma de vista oblicuas

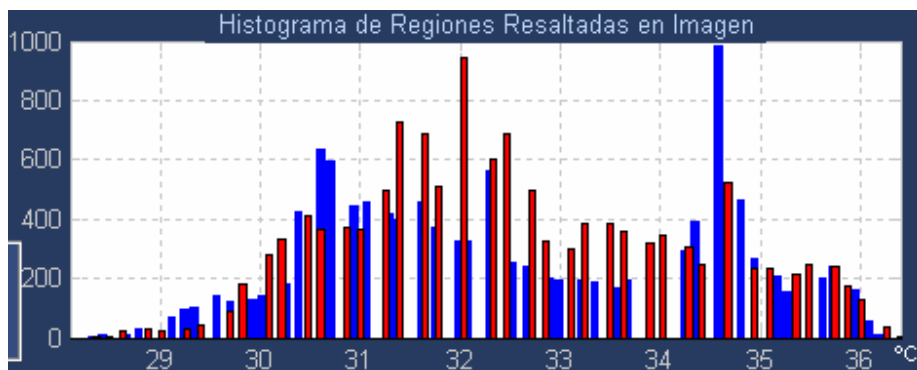


b) Histograma de vista oblicua (en barras rojas la vista derecha y en barras azules la vista izquierda)

Figura F.12. Histograma de las máscaras completas de vistas oblicuas de una mujer adulta.



a) Termograma de vista laterales

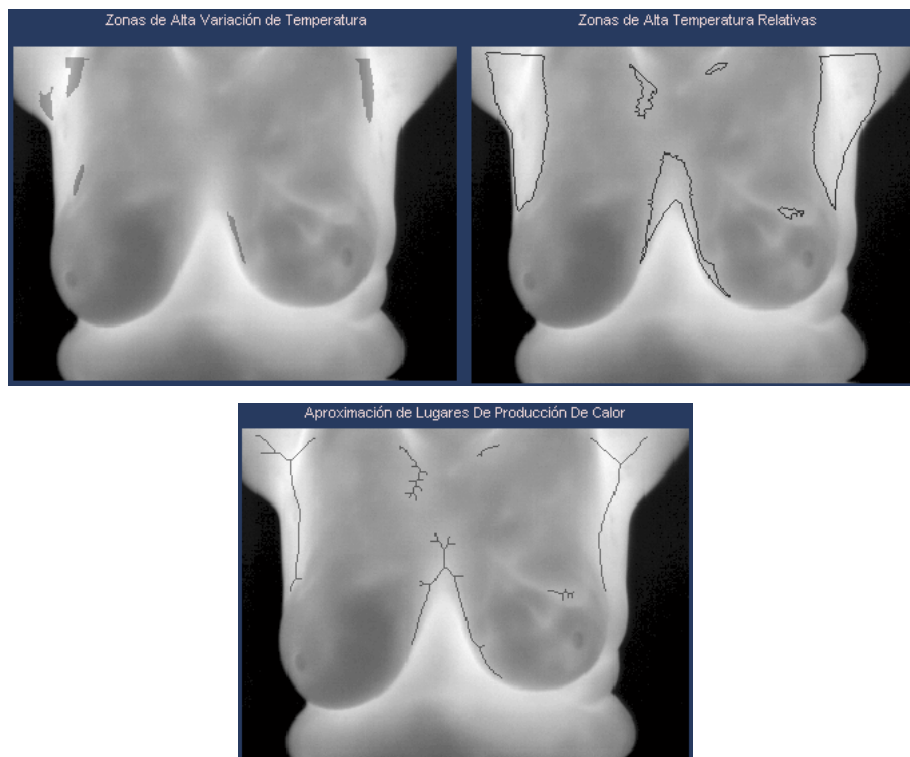


b) Histograma de vista lateral (en barras rojas la vista derecha y en barras azules la vista izquierda)

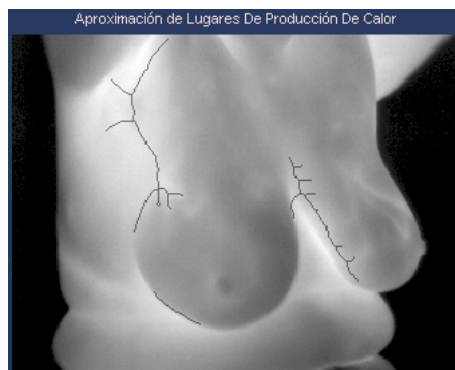
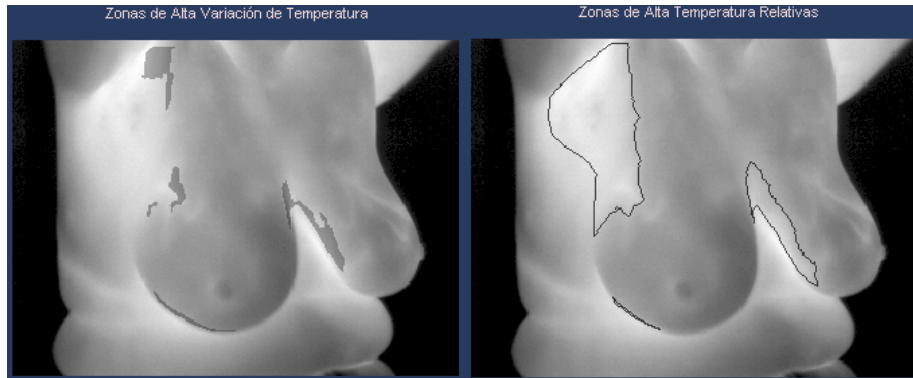
Figura F.13. Histograma de las máscaras completas de vistas Laterales de una mujer adulta.

Como se puede observar, esta paciente no tiene grandes diferencias entre la distribución de temperatura de un lado y su contraparte en los niveles más altos del rango (entre 35°C y 36°C), esto mismo se puede ver en algunos resultados como la media, la mediana y el máximo.

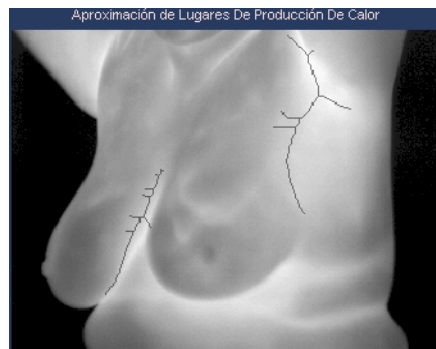
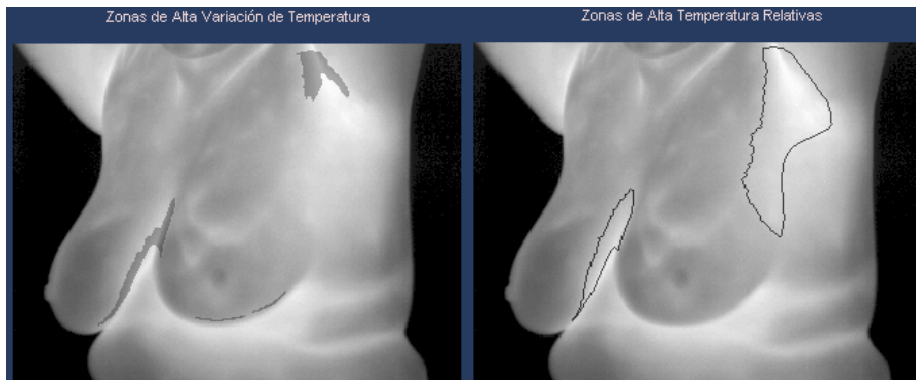
A continuación, se muestran los descriptores de forma para la segunda paciente tal y como se realizó para el primer ejemplo.



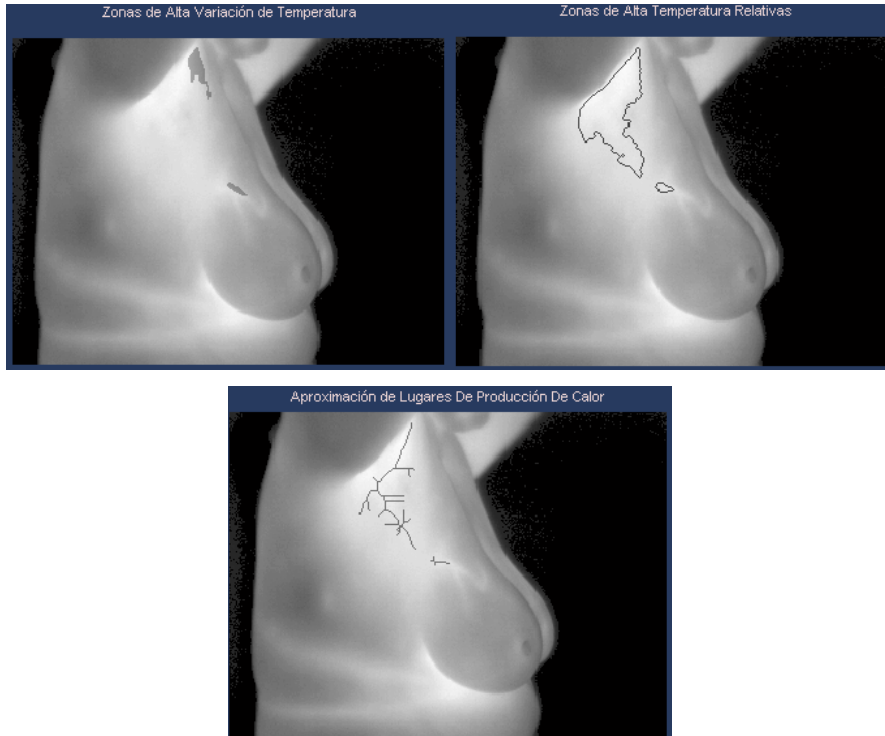
a) Vista frontal



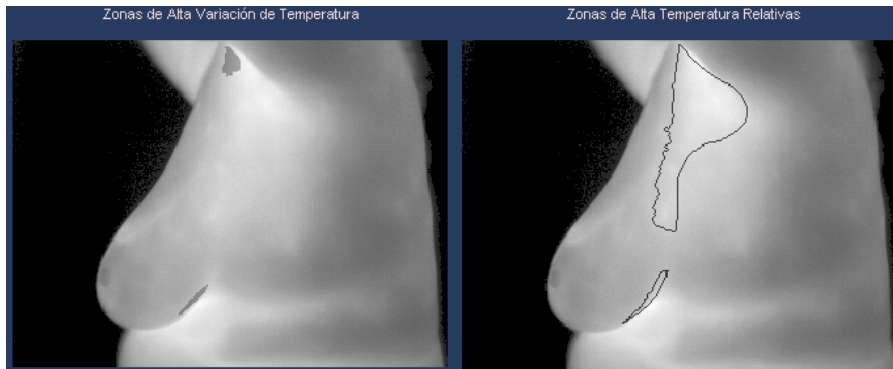
b) Vista oblicua derecha

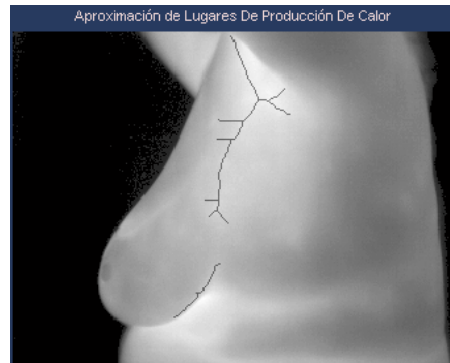


c) Vista oblicua izquierda



d) Vista lateral derecha





e) Vista lateral izquierda

Figura F.14. Visualización presentada sobre zonas de alta variación de temperatura, zonas de de alta temperatura y aproximación de lugares de producción de calor en un registro (segundo ejemplo).

En este caso se podría afirmar que, no hay casi zonas de altas variaciones de temperaturas, y las zonas de altas temperaturas están en su mayoría concentradas en la región de la axila y el centro del pecho.

La representación etiquetada de las áreas de la vista oblicua derecha mostrada en la figura F.14 (b), se muestra en la figura F.15.

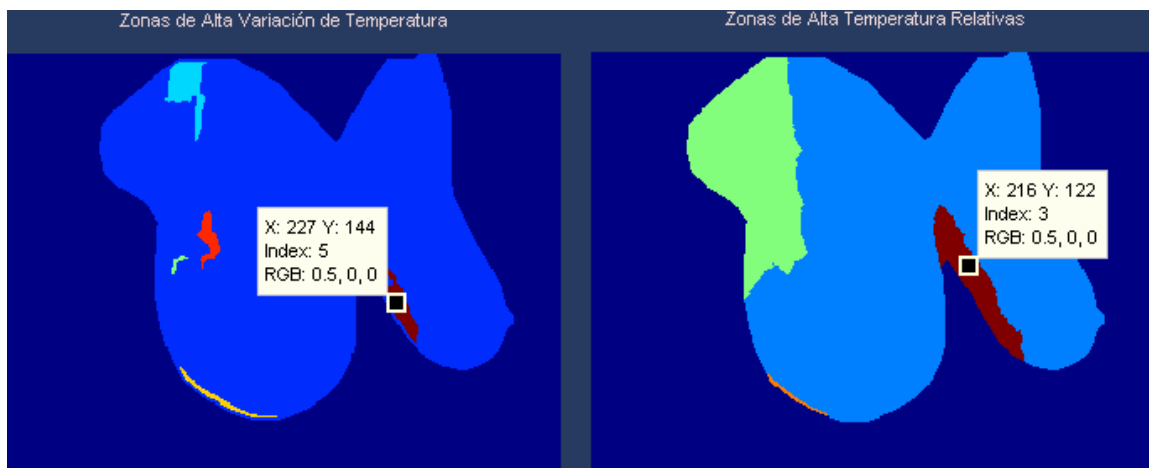


Figura F.15. Representación etiquetada de áreas de la segunda paciente.

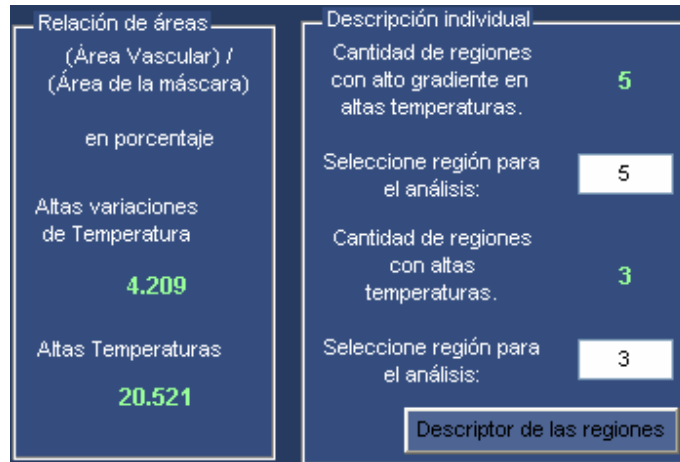


Figura F.16. Información general de las zonas de altas variaciones de temperatura y zonas de altas temperaturas de la segunda paciente.

En la figura F.16 se muestra los datos generales de toda la región, esto es relación de áreas en porcentaje, la cantidad de áreas y el área a analizar los descriptores que indican su forma.

Descriptores por áreas individuales			
Alta Variación	5	Alta Temperatura	3
Área (%)	<input type="text" value="1.559"/>	Área (%)	<input type="text" value="3.776"/>
Perímetro (%)	<input type="text" value="0.703"/>	Perímetro (%)	<input type="text" value="0.741"/>
Circularidad	<input type="text" value="0.35"/>	Circularidad	<input type="text" value="0.517"/>
Huecos internos	<input type="text" value="0"/>	Huecos internos	<input type="text" value="0"/>
Alto (%)	<input type="text" value="0.204"/>	Alto (%)	<input type="text" value="0.275"/>
Ancho (%)	<input type="text" value="0.139"/>	Ancho (%)	<input type="text" value="0.161"/>
Inclinación	<input type="text" value="-50.37"/>	Inclinación	<input type="text" value="-59.181"/>

Figura F.17. Información de áreas individuales de la segunda paciente.

En la figura F.17 se muestran las zonas de alta variación de temperatura, y las zonas de alta temperatura, con los datos individuales de la región 5 de Alta variación y la región 3 de Alta temperatura.

G. DIAGRAMAS DE METODOLOGÍA Y FUNCIONAMIENTO DE ALGORITMO

La metodología desarrollada es ordenada en un breve diagrama que se ilustra en la figura G.1. Ésta tuvo un registro de entrada para cada paciente con 5 vistas (Frontal, Oblicua Derecha, Oblicua Izquierda, Lateral Derecha, Lateral Izquierda). Tales termogramas fueron segmentados manualmente y luego sub-divididos teniendo en cuenta los criterios fisiológicos de la glándula mamaria. Las regiones resultantes sirvieron para analizar por pares comparativos la descripción de la distribución de frecuencias de temperatura. Además, se describe las formas de las zonas calientes presentadas en la región de interés.

Metodología

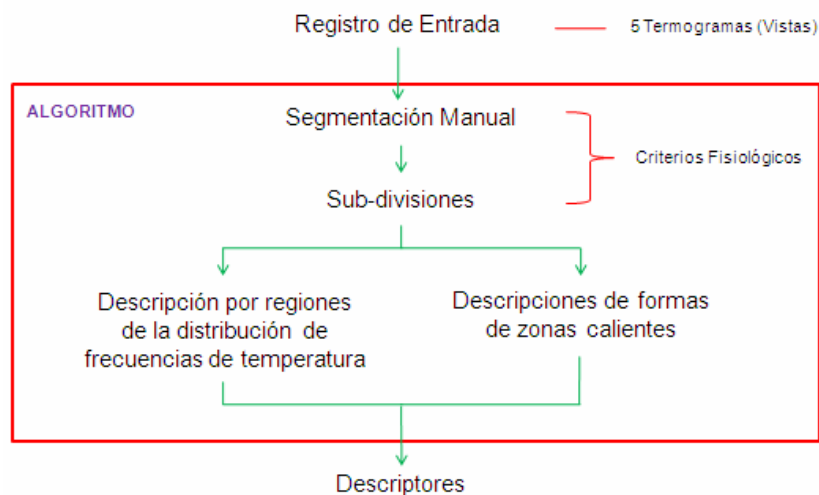
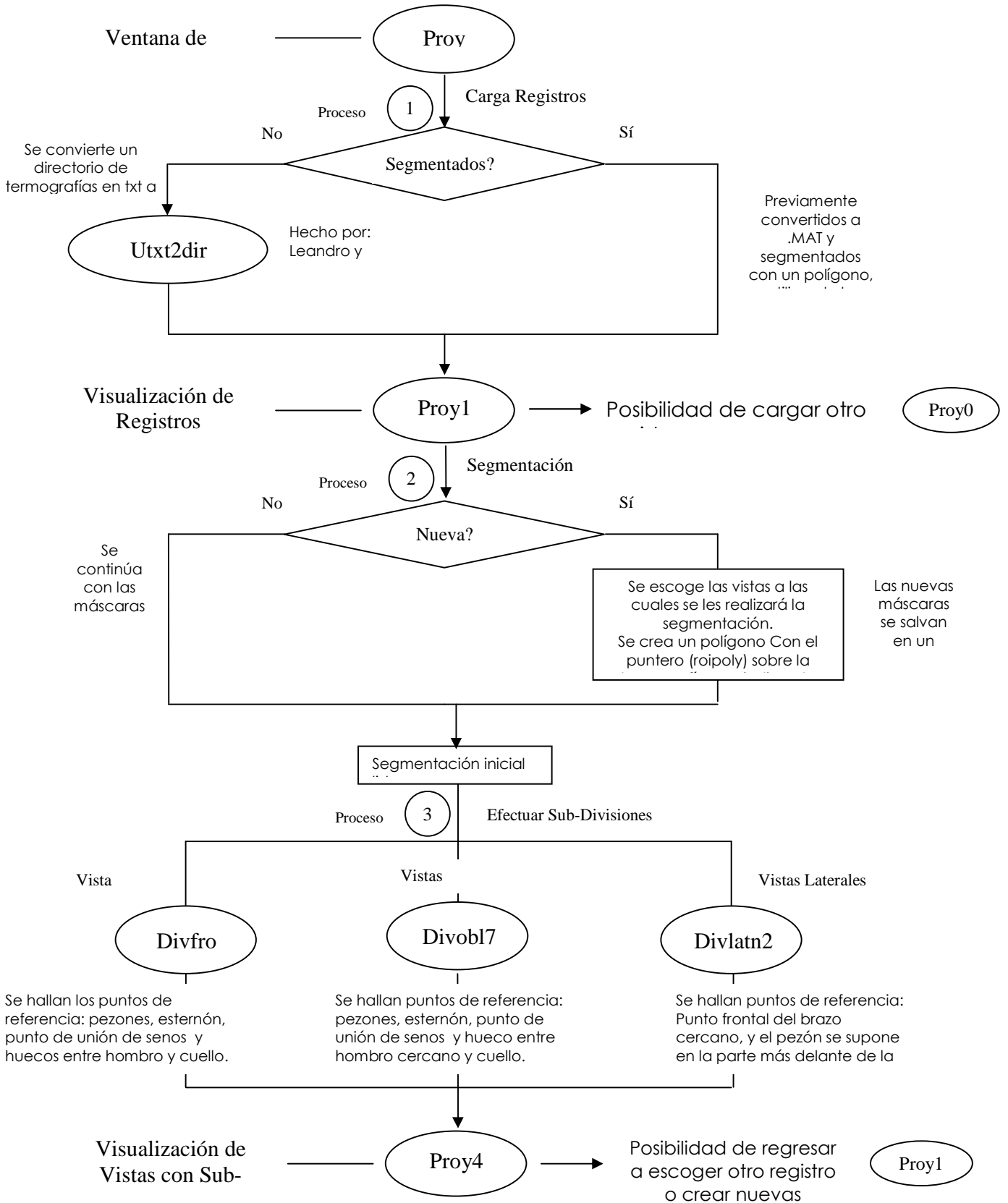


Figura G.1. Diagrama de la metodología desarrollada.

En otro aspecto es importante explicar un diagrama del algoritmo para su mejor entendimiento, el cuál muestra lo que realiza cada archivo de código y las posibles opciones que tiene. El diagrama del algoritmo se ilustra en la figura G.2.



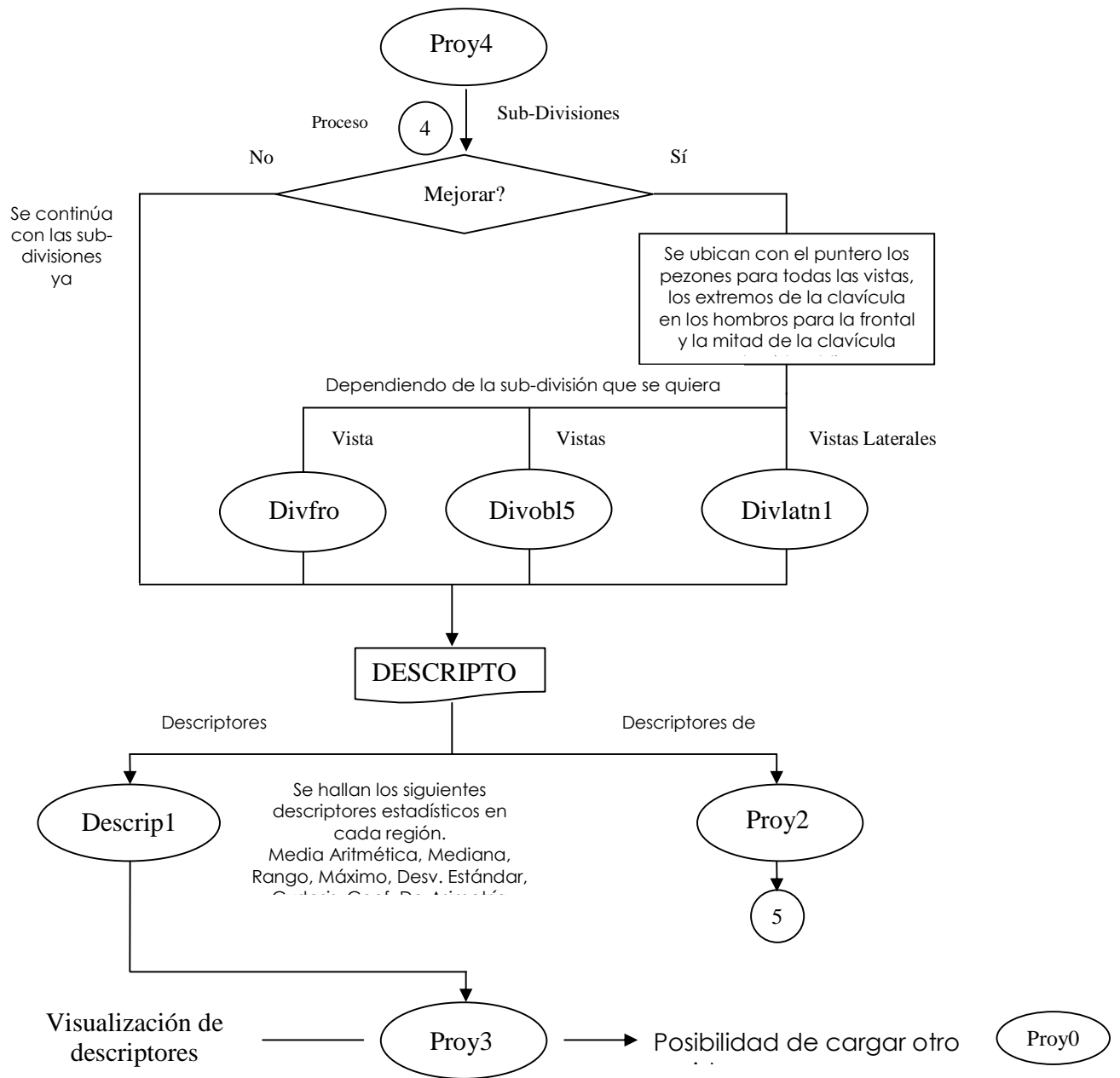


Figura G.2. Diagrama representativo del Algoritmo