

# UACM

Universidad Autónoma  
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS  
Y DE TELECOMUNICACIONES

**Análisis comparativo de técnicas de segmentación  
de imágenes de mamografías digitales**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
LICENCIADOS EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS  
Y DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTAN

**YURIANA CARRASCO TORRES  
ERIC ESPARZA VÁZQUEZ**

DIRECTOR

**DR. MARIO VILLAFUERTE BANTE**

Ciudad de México, junio de 2025.

## SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

### RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

### DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

## **Resumen**

En el año 2020, el cáncer de mama fue la enfermedad más frecuente y la primera causa de muertes para mujeres en México.

La mama es un órgano glandular encargado de secretar leche y se encuentra desde la segunda hasta la sexta costilla, está formada por tejido adiposo (grasa), como lóbulos, lobulillos glandulares, músculo pectoral, vasos perforantes de la arteria y venas mamarias internas. La mama se puede clasificar en cuatro tipos que van de la “A” a la “D”, donde esta clasificación depende de la densidad.

Existen diferentes tipos de alteraciones que pueden presentarse en la mama y se clasifican dependiendo del grado de gravedad: benignas, pre malignas y malignas. En las malignas se encuentra el cáncer, el cual degenera, prolifera y multiplica las células sanas hasta convertirlas en tumores.

Existen diferentes técnicas para diagnosticar el cáncer de mama, la más común es la imagen de rayos X, también conocida como mamografía, la cual muestra una imagen en escala de grises (la detección de la zona anómala de la mama).

En este trabajo de tesis abordaremos una comparativa de técnicas realizadas en Matlab y Google colabatory (Python 3), con la finalidad de mostrar qué técnicas pueden ser más convenientes, así como las ventajas de programar en cierto lenguaje para el procesamiento digital de imágenes de una mamografía, la cual fue implementada en tres equipos de cómputos diferentes y con recursos de procesamiento en línea.

**Palabras clave: Cáncer de mama, mamografías, segmentación, filtros, Matlab, Python 3.**

## **Agradecimientos**

Agradecemos a nuestros profesores que estuvieron en nuestra formación académica y en especial a: Dr. Blanca Isabel Vázquez Martínez, Dr. Luis Ricardo De La Vega Ballesteros, Dr. Guillermo Alvarez Lucio, Dr. Marcó Antonio Prado Záyago, Lic. David Fernando Vizuet Morales y M. en C. Guadalupe Sagaon Rojas que nos brindaron su guía apoyo y amistad.

Al Dr. Mario Villafuerte Bante por su apoyo, dirección y asesoría en esta tesis. Agradecemos profundamente a la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por la educación que se nos proporcionó en este tiempo.

Nada Humano Me Es Ajeno.

## **Dedicatoria**

### Dedicatoria Eric

A mi esposa por todos sus esfuerzos, dedicación y apoyo incondicional. A mi madre que desde pequeño me apoyó en mis incontables proyectos, su fuerza, dedicación y convicciones me ayudaron a formar mi camino.

### Dedicatoria Yuriana

Le agradezco a mi mamá Sofía Carrasco Torres por ser la persona que soy hoy en día por todos sus esfuerzos, por su apoyo incondicional que me ha brindado a lo largo de mi vida, a mis abuelos y a mi esposo e hijos por motivarme a seguir estudiando.

Queremos dedicar un considerable agradecimiento a nuestros amigos: Lic. Francisco Vargas Sánchez, Iván R. Hidalgo Ledesma, Ricardo A. Montoya Ortiz, Miguel A. Tabares Ortega, Erick Cárdenas Mexicano, que nos brindaron su gran amistad y su apoyo incondicional.



# Índice

Índice de tablas.....	XI
Índice de figuras.....	XII
Índice de graficas .....	XX
<b>Capítulo 1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivo general y Objetivos particulares.....	2
1.4 Metodología.....	2
<b>Capítulo 2 Cáncer de mama.....</b>	<b>3</b>
2.1 Anatomía de la mama.....	3
2.1.1 Clasificación de la mama.....	4
2.1.2 Tipos de enfermedades de la mama.....	4
2.2 ¿Qué es el cáncer de mama? .....	6
2.3 Epidemiología y factores de riesgo (estadísticas).....	7
2.3.1 Tipos de diagnósticos.....	9
<b>Capítulo 3 Pre procesamiento digital de imágenes.....</b>	<b>11</b>
3.1 Conversión a escala de grises.....	12
3.2 Conversión de gris a blanco y negro (binarización).....	13
3.3 Filtros.....	13
3.3.1 ¿Qué son los filtros? .....	13

3.3.2 Filtro en el dominio espacial. ....	14
3.3.3 Filtros lineales. ....	15
3.4 Histogramas. ....	16
3.4.1 Ecuación del histograma. ....	18
<b>Capítulo 4 Procesamiento. ....</b>	<b>19</b>
4.1 Imágenes digitales. ....	19
4.2 Contraste. ....	19
4.3 Convolución. ....	20
4.4 Fourier. ....	21
4.5 Mejoramiento del Contraste. ....	22
<b>Capítulo 5 Segmentación. ....</b>	<b>23</b>
5.1 Segmentación por bordes. ....	23
5.2 Segmentación basada en umbralización. ....	24
5.3 Segmentación k-means. ....	25
5.4 Top-hat. ....	25
5.5 Método Otsu. ....	26
5.6 Operaciones morfológicas. ....	26
5.6.1 Filtro de tamaño (dilatación y erosión). ....	26
<b>Capítulo 6 Análisis comparativo: Matlab (R2017a) vs Python3 (colaboratory). ....</b>	<b>28</b>
6.1 ¿Qué es Matlab? ....	28
6.2 Pre procesamiento. ....	29
6.2.1 Conversión a escala de grises. ....	29

6.2.1 Conversión de gris a blanco y negro (binarización).....	30
6.3 Filtros.....	31
6.3.1 Filtros en el dominio espacial.....	31
6.3.2 Filtros lineales.....	32
6.3.3 Histograma ecualizado.....	33
6.4 Procesamiento.....	34
6.4.1 Imágenes digitales.....	34
6.4.2 Mejoramiento del contraste.....	35
6.4.3 Convolución.....	35
6.4.4 Fourier.....	36
6.4.5 Contraste.....	37
6.5 Segmentación.....	38
6.5.1 Segmentación por bordes.....	38
6.5.2 Segmentación basada en umbralización.....	39
6.5.3 Segmentación k-means.....	39
6.5.4 Top-hat.....	40
6.5.5 Método Otsu.....	41
6.5.6 Operaciones morfológicas.....	42
6.6 Python.....	42
6.6.1 ¿Qué es Python 3?.....	42
6.6.2 ¿Qué es Google Colaboratory?.....	43
6.7 Pre procesamiento.....	44

6.7.1 Conversión a escala de grises.....	44
6.7.2 Conversión de gris a blanco y negro (binarización).....	45
6.7.3 Filtros en el dominio espacial.....	45
6.7.4 Filtro lineales.....	46
6.7.5 Ecuación del histograma.....	48
6.8 Procesamiento.....	48
6.8.1 Imágenes digitales.....	48
6.8.2 Mejoramiento del contraste.....	49
6.8.3 Convolución.....	50
6.8.4 Fourier.....	50
6.8.5 Contraste.....	51
6.9 Segmentación.....	52
6.9.1 Segmentación por bordes.....	52
6.9.2 Filtro Laplaciano.....	53
6.9.3 Segmentación basada en umbralización.....	54
6.9.4 Segmentación k-means.....	54
6.9.5 Top-hat.....	55
6.9.6 Método Otsu.....	56
6.9.7 Operaciones morfológicas.....	56
<b>Capítulo 7 Resultados.....</b>	<b>58</b>
7.1 Comparativas entre máquinas.....	71
<b>Capítulo 8 Conclusión y trabajos a futuro.....</b>	<b>77</b>

8.1 Conclusión .....	77
8.2 Trabajos a futuro .....	78
<b>Anexos.</b> .....	79
Producto .....	96
<b>Referencias.</b> .....	97

## Índice de tablas

Tabla 1. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el laboratorio de matemáticas.....	59
Tabla 2. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el laboratorio de matemáticas.....	61
Tabla 3. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en la laptop ASUS K53.....	63
Tabla 4. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en la laptop ASUS K53.....	65
Tabla 5. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el PC de escritorio.....	67
Tabla 6. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el PC de escritorio.....	69
Tabla 7. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución ocupados en la tesis.....	73
Tabla 8. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución ocupados en la tesis.....	74
Tabla 9. Tabla comparativa de Matlab y Python. ....	75
Tabla 10. Tabla comparativa de Matlab y Python. ....	75
Tabla 11. Tabla comparativa de Matlab y Python. ....	76

## Índice de figuras

Figura 1 Anatomía de la mama. ....	3
Figura 2 Esquema del pre procesamiento de una imagen. ....	11
Figura 3 Plantilla de pixeles de 3x3. ....	14
Figura 4 a) Histograma a niveles de gris y b) histograma con distintos tonos de la imagen. ....	16
Figura 5 Ejemplos de diferentes histogramas. ....	17
Figura 6 a) Histograma original e histograma ecualizado y b) Histograma original con media. ....	18
Figura 7 Se muestran diferentes contrastes de una misma foto. ....	20
Figura 8 Estructura de top-hat. ....	25
Figura 9 (a) De lado izquierdo es la imagen original y de lado derecho la dilatación morfológica y (b) De lado izquierdo es la imagen original y de lado derecho la erosión morfológica. ....	27
Figura 10 Imagen original de una mamografía con su respectivo histograma. ....	29
Figura 11 Imagen de una mamografía con una conversión a escala de grises, con su respectivo histograma. ....	30
Figura 12 Imagen de una mamografía con una conversión de gris a blanco y negro (binarización) con su respectivo histograma. ....	30
Figura 13 Imagen de una mamografía con filtros pasa altas y pasa bajos con sus respectivos histogramas. ....	31
Figura 14 Imagen de una mamografía con ruido Gaussiano, filtro Gaussiano y filtro media 3x3 con sus respectivos histogramas. ....	32
Figura 15 Imagen de una mamografía con filtro de la media con ruido aleatorio tipo sal y pimienta con mascara de 3x3 y 9x9 con su respectivo histograma. ....	32

Figura 16 Imagen de una mamografía con filtro de la mediana y media con ruido Gaussiano y ruido aleatorio con su respectivo histograma. ....	33
Figura 17 Imagen de una mamografía ecualizada con su respectivo histograma ecualizada. ....	34
Figura 18 Imagen de una mamografía con mejoramiento del contraste. ....	35
Figura 19 Imagen de una mamografía con blur kernel, motion blur kernel y sobel kernel y su respectivo histograma. ....	36
Figura 20 Imagen de una mamografía con transformada discreta de Fourier con su respectivo histograma. ....	37
Figura 21 Imagen de una mamografía con contraste .....	37
Figura 22 Imagen de una mamografía con Canny/Prewitt y su respectivo histograma. ....	38
Figura 23 Imagen de una mamografía con filtro Laplaciano con su respectivo histograma. ....	38
Figura 24 Imagen de una mamografía con segmentación basada en umbralización y su respectivo histograma. ....	39
Figura 25 Imagen de una mamografía con segmentación k-means y su respectivo histograma. ....	40
Figura 26 Imagen de una mamografía con top-hat y su respectivo histograma. ....	41
Figura 27 Imagen de una mamografía con el método Otsu y su respectivo histograma. ....	41
Figura 28 Imagen de una mamografía con dilatación y erosión y su respectivo histograma. ....	42
Figura 29 Imagen original de una mamografía con su respectivo histograma. ....	44
Figura 30 Imagen de una mamografía con una conversión de escala de grises con su respectivo histograma. ....	44
Figura 31 Imagen de una mamografía con una conversión de gris a blanco y negro (binarización) con su respectivo histograma. ....	45

Figura 32 La imagen de arriba muestra una mamografía con filtro pasa bajo y su respectivo histograma y la imagen de abajo muestra una mamografía con filtro pasa altas y su respectivo histograma. ....	46
Figura 33 Imagen de una mamografía con filtro Gaussiano y su respectivo histograma.....	46
Figura 34 Imagen de una mamografía con filtro de diferencia y su respectivo histograma. ....	47
Figura 35 Imagen de una mamografía con filtro mediana y su respectivo histograma.....	47
Figura 36 Imagen de una mamografía ecualizada con su respectivo histograma ecualizada. ....	48
Figura 37 Imagen digital original de una mamografía.....	49
Figura 38 Imagen de una mamografía con mejoramiento del contraste y su respectivo histograma.	49
Figura 39 Imagen de una mamografía con convolución y su respectivo histograma. ....	50
Figura 40 Imagen de una mamografía con Fourier y su respectivo histograma. ....	51
Figura 42 Imagen de una mamografía con segmentación de bordes (Canny) y su respectivo histograma. ....	52
Figura 43 Imagen de una mamografía con filtro de detección de bordes y su respectivo histograma.	53
Figura 44 Imagen de una mamografía con filtro Laplaciano y su respectivo histograma. ....	53
Figura 45 Imagen de una mamografía con segmentación basada en umbralización. ....	54
Figura 46 Imagen de una mamografía con segmentación k-means y su respectivo histograma.....	55
Figura 47 Imagen de una mamografía con top-hat y su respectivo histograma.....	55
Figura 48 Imagen de una mamografía con el método Otsu. ....	56
Figura 49 En la parte superior se muestra la imagen de una mamografía con erosión y su respectivo histograma y en la parte inferior se muestra la imagen de una mamografía con dilatación y su respectivo histograma. ....	57
Figura 50 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de afinación de imagen. ....	79

Figura 51 Imagen de una mamografía con histograma cambio de tamaño.....	79
Figura 52 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de Canny/Prewitt. ....	79
Figura 53 Imagen de una mamografía con histograma con las técnicas de contraste, recorte y transformación gama.....	79
Figura 54 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de transformación log. ....	79
Figura 55 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de interpolación de comandos directos.....	79
Figura 56 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de LoG.....	80
Figura 57 Imagen de una mamografía con histograma con las técnicas de apertura y clausura.....	80
Figura 58 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de crecimiento de regiones. .	80
Figura 59 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de región. ....	80
Figura 61 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de componentes conexas. ....	80
Figura 62 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de canal RGBWG.....	81
Figura 63 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de segmentación 2. ....	81
Figura 65 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de la transformación geométrica.....	81
Figura 66 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de detección de color sin histograma.....	82
Figura 67 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica del filtro edges. ....	82
Figura 68 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de thresh trunc. ....	82
Figura 70 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de zero invertida. ....	82
Figura 71 Imagen de una mamografía con histograma de la reconstrucción de la imagen digital de la mama.....	82

Figura 72 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de scikit-image (de color a escala de grises). .....	83
Figura 73 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica del filtro de sobel. ....	83
Figura 74 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de detección de bordes.....	83
Figura 75 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de mejoramiento del contraste. ....	83
Figura 76 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de eliminación de ruido. ....	83
Figura 77 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de restauración con filtro Wiener.....	83
Figura 78 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de suavizado y resalte de contornos.....	84
Figura 79 Imagen de una mamografía en gris con histograma media.....	84
Figura 80 Imagen de una mamografía con histograma ecualizado.....	84
Figura 81 Imagen de una mamografía con histograma clahe.....	84
Figura 82 Imagen de una mamografía con histograma.....	84
Figura 83 Imagen de una mamografía con histograma ecualizada subexpuesta.....	84
Figura 84 Histogramas con matplotlib.....	84
Figura 85 Imagen de una mamografía con histograma con open cv.....	84
Figura 86 Imagen a color de una mamografía con histograma.....	85
Figura 87 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de cambio de intensidad. ....	85
Figura 88 Imagen de una mamografía con histograma ecualizado.....	85
Figura 89 Imagen de una mamografía con histograma a escala de grises. ....	85
Figura 90 Imagen de una mamografía con histograma a color.....	85

Figura 91 Imagen de una mamografía con histograma ecualizado. ....	85
Figura 92 Imagen de una mamografía con histograma con desenfoque medio. ....	86
Figura 93 Imagen de una mamografía con histograma con detección de centroides. ....	86
Figura 94 Imagen de una mamografía con histograma reconstrucción por color de centroides. ....	86
Figura 95 Imagen de una mamografía con histograma de aumento. ....	86
Figura 96 Imagen de una mamografía con rotación. ....	86
Figura 97 Imagen de una mamografía con pre procesamiento. ....	86
Figura 98 Imagen de una mamografía con extracción de características. ....	87
Figura 99 Imagen de una mamografía a escala de grises. ....	87
Figura 100 Imagen de una mamografía con extracción de canal BGR-RGB. ....	87
Figura 101 Imagen de una mamografía con histograma a color. ....	87
Figura 102 Imagen de una mamografía con histograma a color. ....	87
Figura 103 Imagen de una mamografía con histograma con extracción de canal rojo. ....	87
Figura 104 Imagen de una mamografía con histograma con extracción de canal verde. ....	88
Figura 105 Imagen de una mamografía con histograma con extracción de canal azul. ....	88
Figura 106 Imagen de una mamografía con umbralización y extracción de canal rojo. ....	88
Figura 107 Imagen de una mamografía con histograma con detección de morfología. ....	88
Figura 108 Imagen de una mamografía con histograma con detección con mascara. ....	88
Figura 109 Imagen de una mamografía con histograma con Sobel. ....	88
Figura 110 Imagen de una mamografía con histograma con agudización. ....	89
Figura 111 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altos. ....	89
Figura 112 Imagen de una mamografía con histograma con mascara promedio (filtro pasa bajos). ....	89

Figura 113 Imagen de una mamografía con histograma con filtro Gaussiano.....	89
Figura 114 Imagen de una mamografía con histograma con bordes horizontales. ....	89
Figura 115 Imagen de una mamografía con histograma con bordes verticales. ....	89
Figura 116 Imagen de una mamografía con histograma con ambos bordes. ....	90
Figura 117 Imagen de una mamografía con histograma con Sobel (detector de bordes). ....	90
Figura 118 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altos.....	90
Figura 119 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altos.....	90
Figura 120 Imagen de una mamografía con histograma con detección de bordes.....	90
Figura 121 Imagen de una mamografía con histograma con filtro detección de bordes.....	90
Figura 122 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa bajos.....	91
Figura 123 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altas.....	91
Figura 124 Imagen de una mamografía con histograma con detección de bordes.....	91
Figura 125 Imagen de una mamografía con histograma con filtro medio y mediana. ....	91
Figura 126 Imagen de una mamografía con histograma con filtro 2d. ....	91
Figura 127 Imagen de una mamografía con histograma con eliminación de ruido y filtro agudizado. ....	91
Figura 128 Imagen de una mamografía con histograma con filtro agudizado. ....	92
Figura 129 Imagen de una mamografía con histograma con filtro ecualizado. ....	92
Figura 130 Imagen de una mamografía con lectura opencv. ....	92
Figura 131 Imagen de una mamografía con conversión a formato estándar (RGB).....	92
Figura 132 Imagen de una mamografía con relleno de agujeros (fila por fila).....	92
Figura 133 Imagen de una mamografía con rellenos de agujeros con ceros.....	92

Figura 134 Imagen de una mamografía con el formato open cv (BGR).....	93
Figura 135 Imagen de una mamografía con histograma con conversión de binario.....	93
Figura 136 Imagen de una mamografía con histograma con degradación de ruido.....	93
Figura 137 Imagen de una mamografía con histograma restaurada.....	93
Figura 138 Imagen de una mamografía con histograma con degradación y restauración de la imagen.....	93
Figura 139 Imagen de una mamografía con histograma con métodos de ecualización.....	93
Figura 140 Imagen de una mamografía con histograma con métodos de ecualización.....	94
Figura 141 Imagen de una mamografía con histograma con opening.....	94
Figura 142 Imagen de una mamografía con histograma con closing.....	94
Figura 143 Imagen de una mamografía con histograma con el gradiente.....	94
Figura 144 Imagen de una mamografía con histograma con reflejo.....	94
Figura 145 Imagen de una mamografía con histograma con threshold.....	94
Figura 146 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de bordes y segmentación..	95
Figura 147 Imagen de una mamografía con histograma degradada.....	95
Figura 148 Imagen de una mamografía restaurada.....	95
Figura 149 Imagen de una mamografía con histograma a escala de grises.....	95
Figura 150 Imagen de una mamografía con histograma con segmentación.....	95
Figura 151 Imagen de una mamografía con histograma con redimensión de imagen.....	95

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Tasa de defunciones por tumores malignos por año de registro.[10].....	9
Gráfica 2. Tiempo de ejecución (seg) de los códigos de Matlab (2017a).....	60
Gráfica 3. Tiempo de ejecución (seg) de los códigos de Google colab (Python 3).....	62
Gráfica 4. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Matlab (2017a) en laptop ASUS K53. ....	64
Gráfica 5. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Google colab (Python 3) en laptop ASUS K53.....	66
Gráfica 6. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Matlab (2017a) en PC de escritorio (construida). ....	68
Gráfica 7. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Google colab (Python 3) en PC de escritorio (construida). ....	70
Gráfica 8. Comparación en tiempo de ejecución [s] de los códigos de Matlab (2017a) de los diferentes equipos. ....	71
Gráfica 9. Comparación en tiempo de ejecución [s] de los códigos de Google colab (Python 3) de los diferentes equipos. ....	72
Gráfica 10. Tiempo de ejecución [s] de los códigos escogidos de Matlab (2017a). ....	73
Gráfica 11. Tiempo de ejecución [s] de los códigos escogidos de Google colab (Python 3). ....	74

# Capítulo 1 Introducción.

## 1.1 Antecedentes.

La segmentación de imágenes digitales, consiste en separar o subdividir una imagen en las partes que la componen, con la finalidad de separar el objeto de interés con el fondo, este proceso se realiza mediante el uso de diversas técnicas, estas pueden ser: por bordes de la imagen, líneas, curvas, diferencias entre píxeles, diferencia de la luminiscencia de la imagen, color, textura, forma, etc. [1]. Las mamografías de posibles masas con cáncer de mama son imágenes digitalizadas, las cuales tienen ruido, para esto se tiene las etapas de pre procesamiento y procesamiento, las cuales tienen la función de atenuar o eliminar el ruido, para poder hacer una mejor segmentación de la imagen. En este trabajo se comparan diferentes técnicas de pre procesamiento, procesamiento y segmentación en dos diferentes lenguajes de programación (Matlab y Python 3), como se describe más adelante. Por su parte en México, en 2020, el cáncer de mama fue la enfermedad con mayor incidencia (15.3%) y la primera causa de muertes en mujeres. [2].

## 1.2 Justificación.

La literatura no reporta antecedentes de análisis comparativos de tipo exhaustivo de las diferentes técnicas de segmentación de imágenes para el cáncer de mama a partir del procesamiento digital de múltiples imágenes de mastografías. Con el procesamiento de estas imágenes mediante varias técnicas de filtrado y segmentación se busca facilitar una herramienta digital como criterio adicional o complementario para detectar y posiblemente diagnosticar la posible presencia de masas tumorales de mama con mayor claridad.

### 1.3 Objetivo general y Objetivos particulares.

#### Objetivo general:

Analizar comparativamente diversas técnicas de segmentación de imágenes aplicadas a masas tumorales de mama.

#### Objetivos particulares:

- Seleccionar de una base de datos de mamografías digitales, un conjunto de éstas.
- Hacer pre procesamiento al conjunto de mamografías para dar inicio a la separación de los objetos de interés.
- Procesar las imágenes mamográficas para mejorar la calidad y facilitar el reconocimiento de ciertos patrones.
- Hacer una segmentación a la mamografía, particionarla y resaltar objetos del fondo, quitar ruidos, tejidos, hueso, etc.
- Programar y comparar software Matlab y el lenguaje de programación Python 3.

### 1.4 Metodología.

- Obtener imágenes digitales provenientes de bancos de mamografías suficientes para describirlas y realizar experimentos.
- Describir las características de las mamografías digitales.
- Investigar las diferentes técnicas de la segmentación, para implementarlas en Matlab y Python 3 a las imágenes mamográficas.
- Implementar los códigos usando una mamografía digital con cáncer de mama.
- Clasificar y comparar los resultados (tiempo, calidad, técnica, requisitos del software ocupado) de las imágenes de la mamografía con cáncer de mama.

## Capítulo 2 Cáncer de mama.

### 2.1 Anatomía de la mama.

La mama está formada por tejido adiposo que es la grasa y de lóbulos (10 o 20 secciones), estos están divididos en secciones más pequeñas llamadas lobulillos glandulares, son las encargadas de producir la leche durante la lactancia. La leche fluye del lobulillo al pezón por unos tubos llamadas conductos galactóforos.[3].

El pecho va desde la segunda hasta la sexta costilla entre estas costillas está fijada a la fascia del musculo pectoral mayor, la areola-pezón está en la cuarta y quinta costilla en mamas no caídas, lateral a la línea medio clavicular. El tejido mamario esta vascularizado por vasos perforantes de la arteria y venas mamarias internas, que están a los lados del esternón, recibe vascularización de los vasos torácicos laterales (ramas de la arteria axilar), como se muestra en la Figura 1 [3,4].

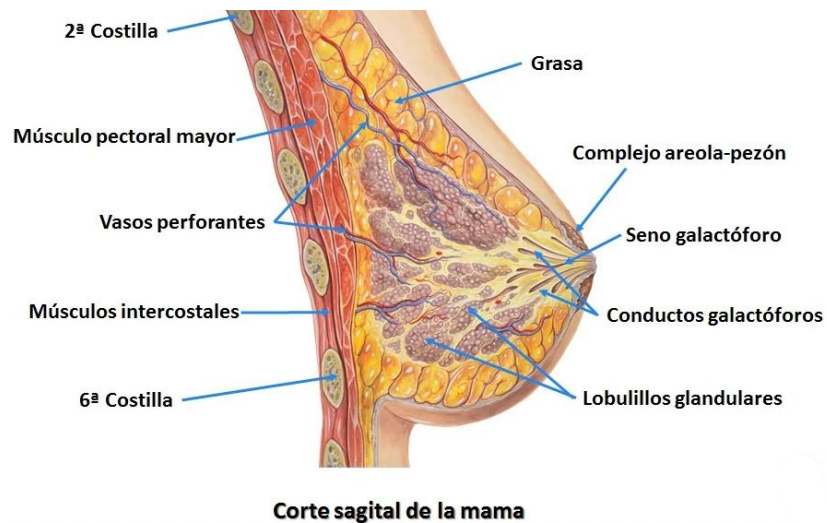


Figura 1 Anatomía de la mama.[3].

### 2.1.1 Clasificación de la mama.

Existen cuatro tipos de mama de acuerdo a la proporción de grasa y de tejido mamario, estos son:[3].

- A: la mayoría es tejido adiposo (grasa) y en la mamografía se ve negra.
- B: al igual que el tipo A la mayoría es tejido adiposo (grasa), con áreas de tejido fibroso o glandular en algunos puntos de la mama y predomina el negro en la mamografía.
- C: predomina el tejido mamario o glandular de forma heterogénea, es decir, hay zonas en las que los lóbulos y los lobulillos glandulares hay más o menos.
- D: está compuesto de un 75% de tejido glandular, son mamas muy densas, tiene muchos lóbulos y lobulillos glandulares, en la mamografía se ve totalmente blanca.

*"Las mamografías revelan **una escala que pasa del negro al blanco**. Cuanto más negra es la mamografía, más grasa tiene la mama. Y cuanto más blanca, más densa es", resume la radióloga Silvia Pérez Rodrigo, jefa del Servicio de Radiología de la Mama en MD Anderson Cáncer Center Madrid [5].*

### 2.1.2 Tipos de enfermedades de la mama.

Las enfermedades de la mama son alteraciones del funcionamiento de la forma o de la estructura de la mama ya sea de forma interna o externa. Dependiendo del grado de gravedad éstas se pueden clasificar en benignas, pre malignas y malignas.[3].

#### **Benignas**

Las enfermedades de mama benignas más frecuentes son:

- Dolor mamario (mastalgia y mastodina).
- Secreción de leche y otras secreciones del pezón.
- Síndrome premenstrual, tensión mamaria premenstrual (hinchazón difusa de las mamas).
- Mastitis y necrosis grasa.
- Mastopatía fibroquística.
- Tumores sólidos y nódulos de naturaleza benigna.
- Quistes mamarios simples y quistes mamarios complejos.
- Papilomas benignos (parecidas a verrugas dentro del tejido mamario).
- Papilomas intraductales (dentro de los conductos mamarios).
- Adenosis esclerosante.

### **Pre malignas**

Las enfermedades de mamas pre malignas también se denominan lesiones precursoras de la mama debido a que éstas se pueden convertir en cáncer de mama si no se diagnostican a tiempo.

- Hiperplasia simple.
- Hiperplasia lobulillar atípica.
- Hiperplasia ductal atípica.

### **Malignas**

Este tipo de enfermedades se caracterizan por un crecimiento anormal y desordenado de las células epiteliales de los lobulillos glandulares y de los conductos mamarios. Las enfermedades malignas de la mama pueden ser clasificadas por su grado de malignidad o por su proliferación.

- Carcinoma in situ lobulillar.
- Carcinoma in situ ductal.
- Carcinoma lobulillar infiltrante.
- Carcinoma ductal infiltrante.
- Otros tipos de cáncer mamario menos frecuentes son los sarcomas, linfomas o metástasis que se presentan en la mama y son producidas por cáncer de otros órganos [4,5].

## 2.2 ¿Qué es el cáncer de mama?

El cáncer de mama es un proceso oncológico en el cual las células sanas de la glándula mamaria degeneran y se convierten en tumores, proliferando y multiplicándose hasta formar el tumor [6]. Se forma en los tejidos de la mama, generalmente en los conductos galactóforos o en los lobulillos glandulares. Se puede observar en una radiografía o se puede palpar como una masa o bulto.

El cáncer se puede desarrollar en cualquier parte del cuerpo y se denomina según la parte del cuerpo corporal en el que se origina. La mayoría de los bultos en los senos son benignos y no cancerosos (malignos) [7].

El 99% de los casos ocurre en las mujeres, se presenta también en hombres, aunque el cáncer de mama masculino es poco frecuente [8,4].

El cáncer de mama es el cáncer más frecuente y la causa más común de muerte en mujeres a nivel mundial.

Las Américas representaron casi una cuarta parte de los nuevos casos de cáncer de mama en 2020. En América Latina y el Caribe, la proporción de mujeres afectadas por la enfermedad antes de los 50 años (32%) es mucho mayor que en América del Norte (19%) [8].

### 2.3 Epidemiología y factores de riesgo (estadísticas).

En México, en 2020, el cáncer de mama fue la enfermedad más frecuente (15.3 %) y la primera causa de muerte en mujeres, con un estimado de 29 mil 929 nuevos casos y siete mil 931 muertes con una tasa de incidencia de 40.5 y de mortalidad de 10.6 por 100 mil personas.

La incidencia en los países desarrollados refleja la presencia de factores de riesgo, reproductivos y hormonales y los relacionados con el estilo de vida [9].

Los factores de riesgo para padecer un cáncer de mama son:

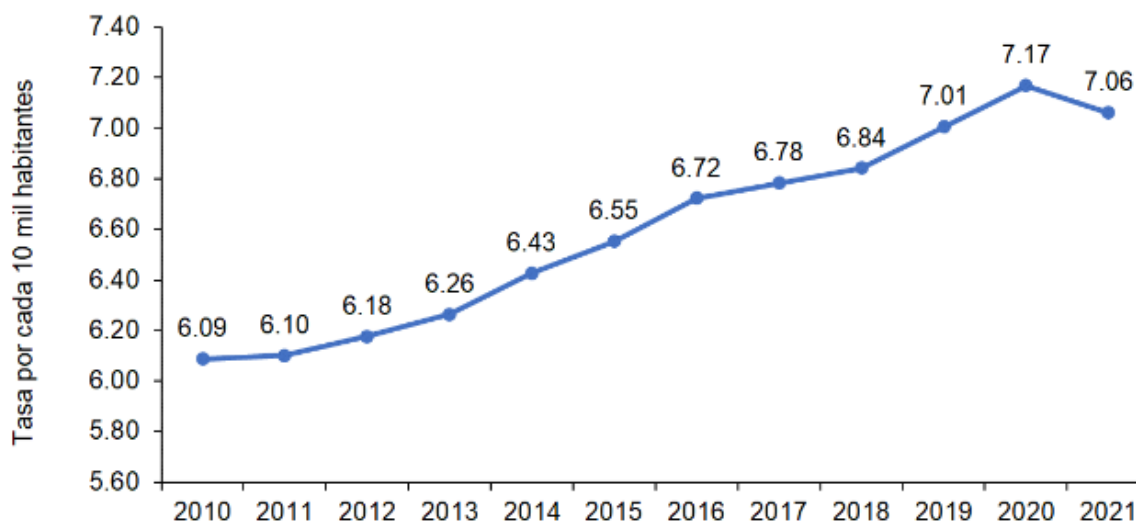
1. La edad es el principal factor de riesgo para padecer un cáncer de mama. El riesgo crece al aumentar la edad.
2. Historia personal de cáncer de mama invasivo (las mujeres que han tenido un cáncer de mama invasivo tienen más riesgo de padecer un cáncer de mama contralateral), carcinoma ductal in situ o carcinoma lobulillar in situ.
3. Historia de hiperplasia atípica.
4. Densidad mamaria elevada en las mamografías.
5. Factores reproductivos que aumentan la exposición a los estrógenos endógenos, como la aparición temprana de la primera regla, la menopausia tardía o la nuliparidad (no haber estado embarazada nunca).

6. El uso de terapia hormonal sustitutiva después de la menopausia aumenta el riesgo de cáncer de mama, al igual que lo hace el uso de una combinación de las hormonas estrógeno y progesterona posterior a la menopausia.
7. La exposición a radiaciones ionizantes, sobre todo durante la pubertad, y las mutaciones hereditarias relacionadas con el cáncer de mama, aumentan el riesgo.
8. El consumo de alcohol.
9. La obesidad.
10. Predisposición genética (antecedentes familiares o mutaciones en determinados genes) [4].

El cáncer se vincula con la multiplicación rápida de células anormales de algún órgano o sistema del cuerpo, que se extienden más allá de sus límites habituales y pueden invadir otras partes del cuerpo. Este proceso se denomina «metástasis» y es la principal causa de muerte por cáncer. Con motivo de la conmemoración del Día Mundial contra el Cáncer, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) ofrece información —a partir de las Estadísticas de defunciones registradas 2021— de los principales indicadores sobre la mortalidad en la población mexicana a causa de tumores malignos.

En 2021, en México se registraron 1,122,249 defunciones, de las cuales 8% fue por tumores malignos (90,123). La tasa de defunciones por esta causa aumentó de forma constante, al pasar de 6.09 defunciones por cada 10 mil personas en 2010, a 7.06 en 2021 [10]. Tal como se puede ver en la Gráfica 1 que representa la tasa de defunciones malignos por año del 2010 al 2021.

### TASA DE DEFUNCIONES POR TUMORES MALIGNOS POR AÑO DE REGISTRO (Defunciones por cada 10 mil habitantes para cada año de registro)



Gráfica 1. Tasa de defunciones por tumores malignos por año de registro.[10].

#### 2.3.1 Tipos de diagnósticos.

Cuando hay una sospecha de cáncer de mama, ya sea por una exploración física o por una mamografía de rutina, se realizan estudios para confirmar o descartar la sospecha, que son los siguientes:[4].

- **Mamografías:** son imágenes de rayos X que detectan zonas anómalas en la mama. Los senos se colocan en la máquina que son presionados entre dos placas para producir la imagen. No es 100% fiable porque pueden dar imágenes sospechosas como falsos positivos o falsos negativos.
- **Ecografía:** utiliza los ultrasonidos para producir una imagen para distinguir lesiones quísticas (re llenas de líquido, normalmente no tumorales) de lesiones sólidas (más sospechosas). Muchas veces esta técnica complementa a la mamografía. La ecografía

valora el estado de los ganglios de la axila que son el sitio donde se esparce el cáncer de mama.

- **Resonancia magnética nuclear (RMN):** es una exploración radiológica que utiliza la acción de un campo electromagnético para obtener una imagen. Puede ser necesaria en mujeres con tejido mamario denso, mujeres con mutación del gen BRCA, implantes mamarios o cánceres lobulares. Se utiliza para ver si el tumor responde al tratamiento.
- **Biopsia:** se hace por palpación directa o guiada por ecografía, mamografía o resonancia magnética, ya sea con una aguja fina o una gruesa para obtener el tejido para ser analizado en el microscopio y determinar si es benigna o maligna. Cuando se realiza la biopsia, se coloca un marcador en el tumor para ayudar a los cirujanos a extirpar el tumor [4,11].

### Capítulo 3 Pre procesamiento digital de imágenes.

Cuando se tiene una imagen mediante cualquier captura se realiza un pre procesamiento, que es la transformación de la imagen original en otra imagen para eliminar información que no es necesaria, estas son: las variaciones en intensidad por el ruido, la iluminación y el bajo contraste para mejorar la calidad de las mismas, alterando sus valores y preservando la información. Algunos métodos son para mejorar el contraste, los bordes, eliminación del ruido, resaltar o atenuar zonas, en la Figura 2 se muestra cómo se realiza un pre procesamiento. Se inicia con la adquisición de la imagen de forma digital. La siguiente etapa es la del pre procesamiento, en esta etapa se detectan y eliminan las fallas por medio de técnicas como contraste, reducción de ruido y restauración. La siguiente etapa es la de segmentación, aquí la imagen se divide en objetos de interés y partes no necesarias. La siguiente etapa es la de representación y descripción, esta etapa es la encargada de extraer las características de interés o fundamentales para definir un objeto de otro. La etapa de reconocimiento asigna un significado a un conjunto de objetos y por último la etapa de base de conocimiento, la cual almacena un dominio para guiar cada módulo y controlar las interacciones entre dichos módulos. [12,13].

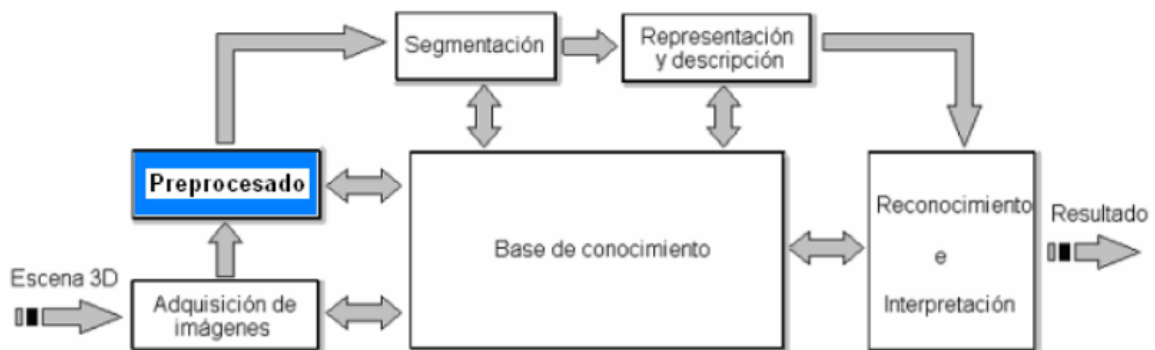


Figura 2 Esquema del pre procesamiento de una imagen [13].

La razón por la cual se hace un pre procesamiento de imágenes en este caso imágenes de mamografías, es que éstas presentan un bajo contraste, esto ocasiona que las masas sean difíciles de detectar, poseen ruido debido a la estructura natural de la mama. Este pre procesamiento “se hace con la finalidad de ampliar el contraste entre los objetos y el fondo, tratando con esto el proporcionar al objeto una intensidad relativamente uniforme y obtener representaciones confiables del mismo” [14].

### 3.1 Conversión a escala de grises.

Cuando se capta una imagen ésta puede ser a color (Red, Green, Blue (RGB)) o a escala de grises (mamografías, rayos X, etc.), si es a color la imagen y se quiere convertir a escala de grises se suman los tres valores de RGB y se dividen entre 3, usando la siguiente ecuación:

$$gris_{ij} = \frac{f(i,j)_R + f(i,j)_G + f(i,j)_B}{3} \quad Ec (1)$$

Donde:

$f$  = la imagen

$i$  = valor vertical del pixel

$j$  = valor horizontal del pixel y

R, G y B = canales de los colores primarios.

En la escala de grises se pierden los valores originales de la imagen a color y no se puede recuperar la imagen original [15].

La conversión a escala de grises tiene solo una capa o canal, ésta muestra la intensidad de luz que proyecta cada objeto en tonos de gris, se calcula el promedio de cada intensidad (de los colores rojo, verde y azul), que va en un rango de 0 a 255 donde el cero representa el negro y el 255 el blanco. [15,13].

### 3.2 Conversión de gris a blanco y negro (binarización).

La conversión de gris a blanco y negro compara los niveles de gris que hay en una imagen con un valor de pixel a cierto umbral (0 al 255) si el nivel de gris es menor que el umbral se le asigna un valor de 0 que es el negro absoluto y si el nivel de gris es mayor o igual que el umbral se le asigna un valor de 1 que es el blanco. [13,16].

### 3.3 Filtros.

A continuación, se verán algunas técnicas de filtrado para modificar una imagen digital.

#### 3.3.1 *¿Qué son los filtros?*

Un filtro es una operación donde el valor de un pixel en la imagen se calcula con un algoritmo, donde el nuevo pixel calculado no depende solamente del pixel original, sino que también se consideran sus pixeles vecinos. [16,17]. Ayuda a reducir el ruido, tipo de iluminación, sombras entre objetos, pequeños puntos no deseados, partículas de polvo en el sistema óptico que están

presentes en la imagen digital, modifica, mejora, resalta, atenúa algunas características de la imagen [13,16].

### 3.3.2 Filtro en el dominio espacial.

En el procesamiento de imágenes se domina el filtrado espacial y las propias mascarar se denominan filtros espaciales [18].

El filtro espacial opera sobre los pixeles de la imagen mediante una máscara cuadrada o rectangular (3x3, 9x9, etc.), ésta consiste en una serie de valores predeterminados para cada posición, se centra sobre el pixel de interés, así el nuevo valor del pixel depende de los pixeles que cubren la máscara, mejora la imagen y elimina el ruido [13].

La Figura 3 es un ejemplo de una plantilla de pixeles de 3x3 donde, sus coeficientes son unitarios en todos los elementos y si al resultado se le multiplica por un noveno se obtiene la media de todos los pixeles y disminuye el ruido [19,16].

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

Figura 3 Plantilla de pixeles de 3x3.

El filtro pasa bajo (suavizante): todos sus coeficientes son positivos, atenúan o eliminan las componentes de alta frecuencia; es decir, deja pasar las frecuencias bajas, lo que produce una imagen más borrosa.

El filtro pasa alto (realce): tiene coeficientes positivos cerca de su centro y coeficientes negativos en la periferia, atenúan o eliminan las componentes de baja frecuencia, reduce el contraste global y la intensidad media.

El filtro de pasa banda: elimina unas regiones elegidas de frecuencias intermedias, emplean la restauración de imágenes [18].

### *3.3.3 Filtros lineales.*

Los valores de intensidad de los pixeles dentro de la región de procesamiento se combinan linealmente para generar el pixel resultado. Existen dos tipos de filtros lineales, el filtro suavizado y filtro de diferencia

El filtro suavizado: suaviza la imagen original y sus coeficientes son positivos. Dentro de este filtro está el filtro Gaussiano que suaviza las regiones en donde los valores de intensidad son homogéneos sin diluir los bordes de la imagen.

El filtro de diferencia: sus coeficientes son positivos y negativos esto hace que realcen los pixeles; es decir, realza los bordes de la imagen [17].

Existen los filtros no lineales que son:

El filtro mediana: se elige el pixel de en medio del vector, debe de estar ordenado de menor a mayor [13]. Elimina el ruido tipo sal y pimienta (puntos blancos y negros que hay en la imagen) [16].

El filtro media: reemplaza el pixel central por la media aritmética de los pixeles de su entorno, difumina, suaviza y elimina ruidos aleatorios en la imagen [20].

### 3.4 Histogramas.

El histograma se representa en forma de barras (diagrama de barras), muestra la distribución que hay de los distintos tonos de una imagen (0 al 255), el eje horizontal representa los diferentes tonos de gris desde el negro absoluto o puro (0) parte izquierda, al blanco absoluto o puro (255) parte derecha, como se ve en la figura 4 [21,22].

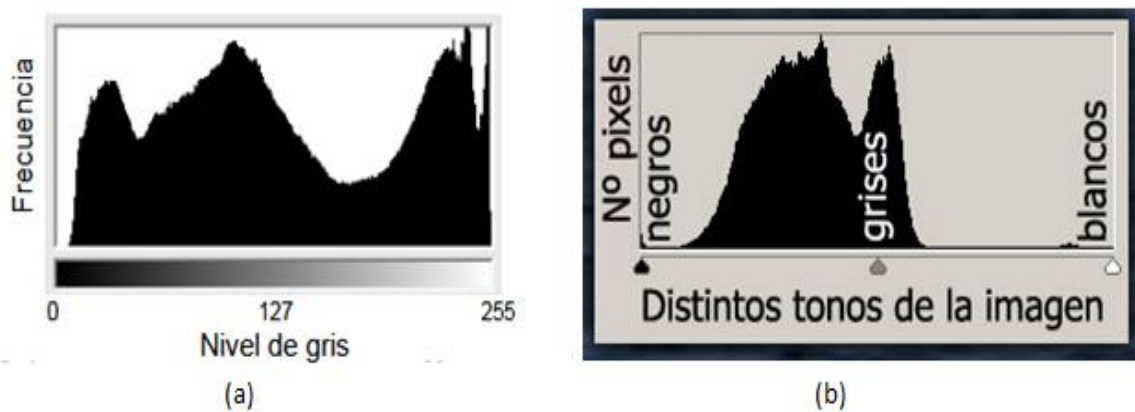


Figura 4 a) Histograma a niveles de gris y b) histograma con distintos tonos de la imagen. [21,22].

Con el histograma no se puede reconstruir una imagen, pero nos muestra el contraste y rango dinámico que son problemas cuando se captura una imagen, algunos problemas son:

Iluminación: los errores de iluminación se ven en el histograma porque la región final o inicial de la escala de intensidad no se usa.

Contraste: es el máximo y mínimo valor de intensidad de los píxeles.

Dinámica: es el número de píxeles diferentes que se usan en la imagen.

Existen dos tipos de histogramas, histogramas a color e histogramas a escala de grises, en este caso se usa el histograma a escala de grises [17].

Algunos ejemplos de histograma son los siguientes:

- a) Tonos apagados: el histograma se desplaza a la izquierda y en la derecha no hay información,
- b) Sombras o zonas oscuras: el histograma tiene un pico en el extremo izquierdo,
- c) Sobreexposición y zonas quemadas: el histograma se desplaza a la derecha y se produce un pico en el extremo derecho (zonas quemadas),
- d) Sombras pálidas: el histograma no tiene zonas oscuras, ni zonas quemadas a la derecha, pero en la izquierda no tiene información,
- e) Contraluz: el histograma tiene una forma de U, porque en la parte de medio tiene escasas zonas grises,
- f) Distribución homogénea: el histograma tiene una forma homogénea en el eje horizontal ya que no hay zonas oscuras o quemadas, tal como se puede ver en la Figura 5. [22].

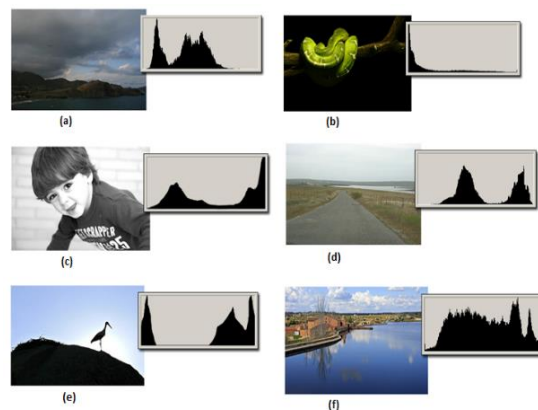


Figura 5 Ejemplos de diferentes histogramas.[22].

### 3.4.1 Ecuación del histograma.

La distribución es uniforme en los niveles de gris; es decir, ocupa un mayor ancho del espectro en los niveles de grises en la imagen de salida, mejorando el contraste, como se ve en la Figura 6 (a) en el **círculo** rojo del histograma original se ve como están mas juntos los tonos negros y en el histograma ecualizado se observa que los tonos negros están más separados y en el círculo azul del histograma original los tonos grises no tienen picos sobresalientes y están un poco uniformes y en el histograma ecualizada tiene unos picos. [23].

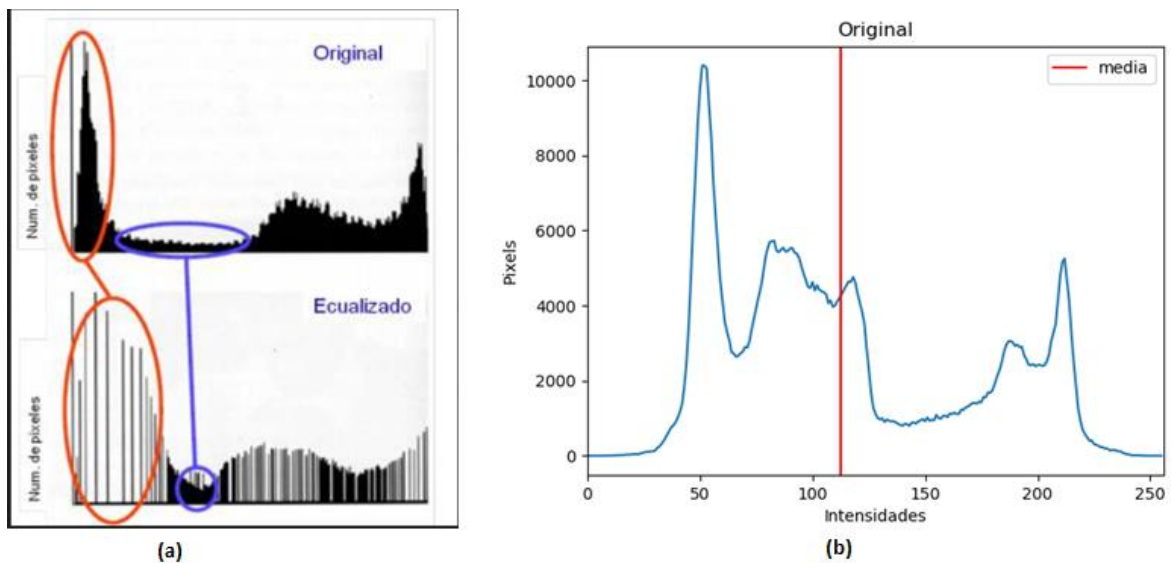


Figura 6 a) Histograma original e histograma ecualizado y b) Histograma original con media. [22,23].

En los histogramas se pueden mostrar la distribución de los valores de intensidad con la media de estos valores el cual se representa con una línea vertical de color rojo, como se ve en la Figura 6 (b). Se incrementa el contraste y el nivel de ruido también puede estar difuminada en el área donde están más claras las imágenes. Utilizando algunos algoritmos se pueden eliminar el contraste y los niveles de ruido que tienen las imágenes [24].

## ***Capítulo 4 Procesamiento.***

El procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar las imágenes por medio de técnicas que ayudan a mejorar su calidad o facilitar el reconocimiento de ciertos patrones, para realizar estos objetivos se necesita reducir las variaciones de la intensidad entre los píxeles (suavizado). Además, se debe eliminar la interferencia de los píxeles; es decir, que los píxeles que tengan mayor nivel de intensidad a la de sus vecinos (eliminar el ruido) [25].

### 4.1 Imágenes digitales.

Las primeras imágenes de forma general son consideradas como imágenes analógicas (dibujos, gráficos, esquemas, fotografías, etc.), para generar una imagen digital de una imagen analógica se utiliza una conversión por medio de las técnicas de cuantificación y de la codificación (escáneres, digitalizadores, etc.).

La cuantificación hace un muestreo de la información analógica; es decir, una discretización y la codificación se encarga de procesar la *discretización* de forma que nos da, el número de bits por muestra, facilitando su almacenamiento y su transmisión.

Una imagen digital se puede definir en una función bidimensional,  $f(x,y)$  donde  $x$  y  $y$  son coordenadas espaciales en el plano, y  $f$  es la intensidad o nivel de gris cuando estos valores ( $X$ ,  $Y$ ,  $f$ ), son cantidades finitas y discretas, también conocidas como píxeles [26,27,28].

### 4.2 Contraste.

“Como contraste se entiende el campo de valores de intensidad que en una imagen concreta son utilizados, en pocas palabras la diferencia entre el máximo y mínimo valor de intensidad de los

pixeles presentes en la imagen. Una imagen con contraste completo utiliza el intervalo completo de niveles de intensidad definidos para la imagen  $a = a_{min} \dots a_{max} = 0 \dots k - 1$  (de negro a blanco). Por ello es sencillo observar el contraste de una imagen utilizando un histograma. La Figura 7 muestra diferentes configuraciones de contraste en imágenes y el respectivo histograma.” [17].

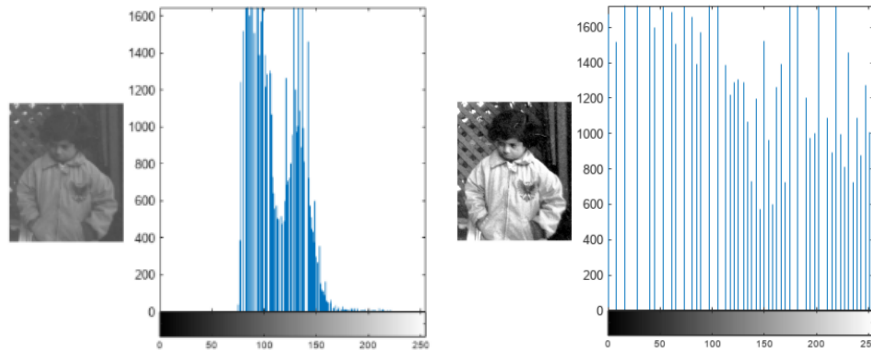


Figura 7 Se muestran una misma imagen con diferentes niveles de contraste.[17].

### 4.3 Convolución.

La convolución es una operación matemática que permite conectar dos funciones continuas o discretas en una sola. Si tenemos dos funciones discretas bidimensionales “I” y “H” la convolución está definida como:

$$I'(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} I(x - i, y - j) * H(i, j) \quad Ec (2)$$

En su forma compacta:

$$I' = I * H \quad Ec (3)$$

Un concepto muy parecido a la convolución es la correlación, la cual es un proceso de pasar la máscara o filtro  $H(i, j)$  a través de la imagen; por lo que podemos decir que la única diferencia entre la convolución y la correlación es que la matriz de coeficientes del filtro es rotada  $180^\circ$ , es decir, se invierten sus ejes de coordenadas [17].

#### 4.4 Fourier.

La transformada de Fourier se ocupa en el procesamiento de imágenes, la cual descompone la imagen en funciones de seno y coseno. La salida de Fourier es la transformada de la imagen en el dominio de la frecuencia y la entrada es la imagen original en el dominio espacial. La transformada de Fourier se puede aplicar a la compresión de imágenes, reconstrucción de imágenes, análisis de imágenes y filtrado de imágenes.

Una imagen se puede representar como la suma de dos componentes con diferentes escalas espaciales, la primera con bajas frecuencias y la segunda con las frecuencias altas. Por otra parte, la imagen digital se puede representar como una señal bidimensional y su serie de Fourier sería una suma finita de senos y cosenos. Por lo tanto, las sumas parciales de los primeros componentes darán como resultado la más baja frecuencia de la imagen original (filtro pasa bajas) y la suma de los últimos componentes de la serie nos dará las frecuencias superiores de la imagen (filtro pasa altas) [29,30].

#### 4.5 Mejoramiento del Contraste.

La mejora de contraste es un método que ajusta la diferencia entre los píxeles más claros y los píxeles más oscuros, por otra parte, el brillo aumenta la intensidad de la luminosidad en toda la imagen por igual. Para implementar la mejora de contraste se ocupa una ecuación exponencial, este método es del dominio espacial con operaciones punto a punto [31,32].

$$g = Cr^n \quad Ec (4)$$

Donde:

$g$  = imagen con contraste

$C$  = Constante positiva

$r$  = Nivel de gris de la imagen original ([0:255])

$n$  = exponente positivo

## *Capítulo 5 Segmentación.*

La segmentación es el proceso de “particionar” o separar una imagen, en sus regiones más importantes para resaltar los objetos del fondo, en el caso de que las imágenes sean en escala de grises, la segmentación se basa en los cambios bruscos de los niveles de gris que tiene la imagen y los métodos que se pueden ocupar son umbralización, bordes, k-means, etc.

La segmentación de la imagen de una mamografía tiene tres problemas principales:

- El primer problema es que presenta mucho ruido.
- El segundo problema radica en las zonas correspondientes a los tejidos, huesos y órganos debido a que la intensidad no es uniforme.
- El tercer problema es que tejidos, huesos y órganos pueden compartir un mismo pixel, teniendo un único pixel con diferentes intensidades [33].

### 5.1 Segmentación por bordes.

La segmentación por detección de bordes es la técnica más frecuente para detectar discontinuidades en el nivel de gris, debido a su practicidad al momento de aplicarla. Este método se basa en la diferencia de una característica en dos regiones adyacentes, esto indica que hay un borde. Existen diferentes tipos de modelos de borde o contornos: *lineal, rampa, tejado*.

Para detectar estas discontinuidades se ocupan las derivadas de primer orden y de segundo orden, para las derivadas de primer orden se ocupa el operador gradiente y para las de segundo orden se ocupa el operador *Laplaciano*.

Para la derivada de primer orden el gradiente de una imagen es una función  $f(x, y)$  que es el vector bidimensional de:

$$g(F(x, y)) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dF}{dx} \\ \frac{dF}{dy} \end{bmatrix} \quad Ec (5)$$

El cálculo del gradiente de una imagen se basa en las derivadas parciales  $dF / dx$  y  $dF / dy$  en cada posición del pixel, lo cual permite encontrar el cambio de intensidad el cual cambia abruptamente.

El Laplaciano de una función bidimensional  $f(x, y)$  es una derivada de segundo orden [33]:

$$\Delta^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad Ec (6)$$

## 5.2 Segmentación basada en umbralización.

La segmentación por umbralización es un método que tiene como fin encontrar un valor de umbral el cual permitirá separar las regiones de interés de la imagen. En caso de que la imagen tenga un solo valor de umbral se llama segmentación binivel y la imagen de salida constara solo del fondo y el objeto de interés, por otra parte, cuando se obtienen 2 o más valores de umbral  $T$  se denomina multinivel y el número de regiones es igual a  $T-1$ . [33].

### 5.3 Segmentación k-means.

Una forma de segmentar una imagen es por el método de K-means o clustering, la cual agrupa las tonalidades más parecidas en K grupos. Esto lo hace de la siguiente forma:

- Se asignan k puntos de forma aleatoria en el espacio, a estos se le llama centroides los cuales definen los k grupos resultantes.
- Cada punto es asociado con el centroide más cercano, en base a su función de distancia
- Se reasignan y se recalcula la nueva ubicación del centroide [34].

### 5.4 Top-hat.

Esta operación a escala de grises está definida por la resta de la imagen original menos la apertura de la imagen, su ecuación será la siguiente:

$$I_{TopH} = I - (I * H) \quad Ec (7)$$

Esta operación toma su nombre de su estructura ya que esta parece un sombrero de copa, tal como se ve en la Figura 8. Cabe destacar que este método es muy ocupado para resaltar los detalles del objeto [17,35].

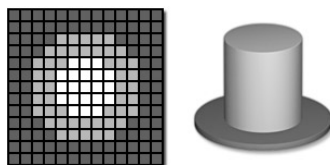


Figura 8 Estructura de top-hat.[17].

## 5.5 Método Otsu.

Este método de segmentación es automático, es decir, no necesita supervisión humana, ni información previa de la imagen. Otsu es adecuado para cuando la imagen tiene bien clara la diferencia entre el objeto de interés (1) y el fondo (0), se aplica:  $g(x,y) = \begin{cases} 1 & \leftrightarrow f(x,y) > T \\ 0 & \leftrightarrow f(x,y) \leq T \end{cases}$ , en este método se elige el umbral T óptimo maximizando la varianza entre las clases, entre más clases tenga la imagen el tiempo para seleccionar un umbral multinivel aumenta [36,37].

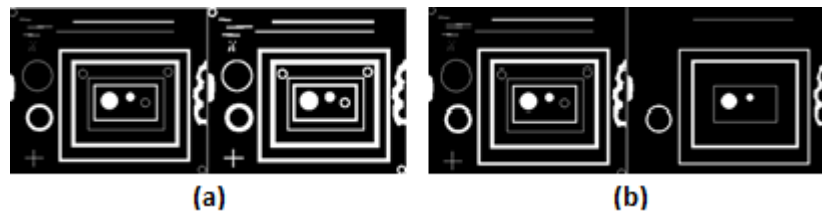
## 5.6 Operaciones morfológicas.

Las operaciones morfológicas están basadas en formas geométricas, éstas aplican un elemento geométrico a una imagen y como resultado proporciona una imagen de salida del mismo tamaño, este método valora cada pixel de salida comparando cada pixel correspondiente con la imagen de entrada [38].

### 5.6.1 Filtro de tamaño (dilatación y erosión).

La dilatación como su nombre lo indica agranda los objetos es decir añade pixeles a los límites que se encuentran en la imagen, por otra parte, la erosión adelgaza quitando pixeles a los límites, la cantidad de pixeles que se agregan o eliminan depende del tamaño y la forma de la estructura del elemento que se utiliza para procesar la imagen.

La dilatación morfológica permite rellenar los huecos de los objetos, con la finalidad de que estos puedan ser más visibles y la erosión morfológica en su salida nos permite ver una imagen con objetos más delgados y finos, esto se debe a que elimina los pixeles flotantes y líneas finas, tal como se puede ver en la Figura 9. [38]



*Figura 9 (a) De lado izquierdo es la imagen original y de lado derecho la dilatación morfológica y (b) De lado izquierdo es la imagen original y de lado derecho la erosión morfológica.[38].*

## ***Capítulo 6 Análisis comparativo: Matlab (R2017a) vs Python3 (colaboratory).***

A continuación, se implementan las técnicas vistas en los capítulos pasados, ocupando dos diferentes programas y lenguajes de programación, así como su tiempo de ejecución para cada técnica, esto se realizó en tres diferentes equipos de cómputo.

### ***6.1 ¿Qué es Matlab?***

Matrix laboratory o laboratorio de matrices (MATLAB) es un software matemático que realiza cálculos científicos basado en matrices, se usa para aprendizaje automático, procesamiento de señales, procesamiento de imágenes (filtrados, segmentación, detección de bordes, reconocimiento de objetos y seguimiento de movimiento), visión artificial, comunicaciones, finanzas computacionales, diseño de control, robótica, etc. Fue desarrollado en la década de 1970 en los laboratorios de investigación de la Universidad de Nuevo México, creado por Cleve Moler.[37].

Sus principales características son:

- Lenguaje de alto nivel para cálculos científicos y de ingeniería.
- Interfaces para C/C++, Java, NET, Python, SQL, Hadoop y Microsoft Excel.
- Plataforma independiente.
- Amplia biblioteca de funciones matemáticas.
- Tiene su propio [EDI] (entorno de desarrollo integrado, en inglés IDE).
- Conjunto de bibliotecas.
- Los recursos dependen del CPU.
- Licencia con costo.
- Lenguaje sencillo.

- Está disponible para las plataformas de Unix, Windows y Apple [39,40].

## 6.2 Pre procesamiento.

### 6.2.1 Conversión a escala de grises.

En la Figura 10 se observa la imagen original de una mamografía obtenida de DDSM: Digital Database for Screening Mammography, la cual tiene un círculo rojo indicando una probable anomalía en la mama, la imagen cuenta con su histograma, ésta se convirtió en escala de grises con la finalidad de poder procesar la imagen, la cual cuenta con su histograma, como se ve en la Figura 11.[41]

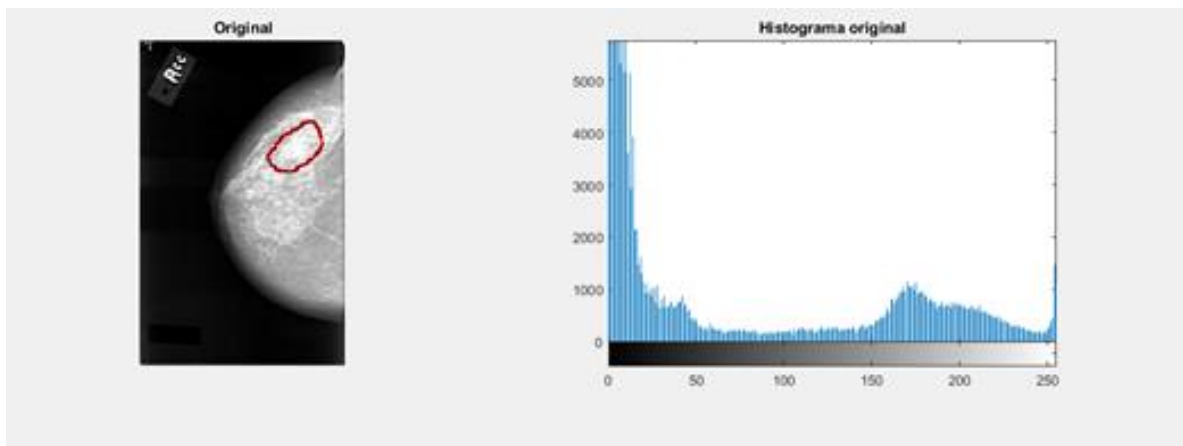


Figura 10 Imagen original de una mamografía con su respectivo histograma.

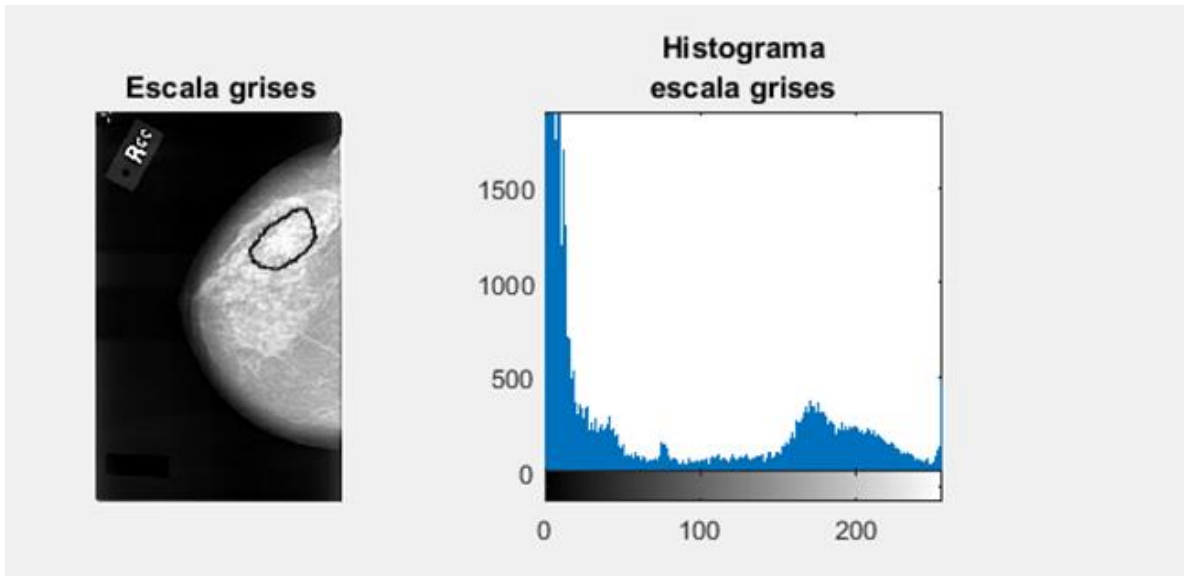


Figura 11 Imagen de una mamografía con una conversión a escala de grises, con su respectivo histograma.

### 6.2.1 Conversión de gris a blanco y negro (binarización).

En la imagen original, se realizó la conversión de gris a blanco y negro (binarización), la cual detecta los bordes de la mama, como se ve en la Figura 12.

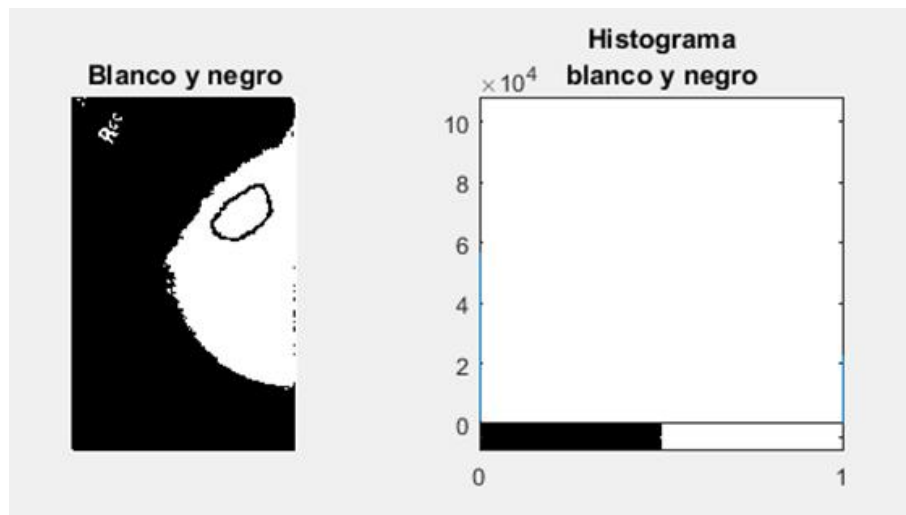


Figura 12 Imagen de una mamografía con una conversión de gris a blanco y negro (binarización) con su respectivo histograma.

## 6.3 Filtros.

### 6.3.1 Filtros en el dominio espacial.

A la imagen original se le aplicó el filtro pasa altas la cual atenúa o disminuye los valores blancos y el filtro pasa bajas acorta la escala de la imagen permitiendo una menor saturación de la imagen, como se ve en la Figura 13.

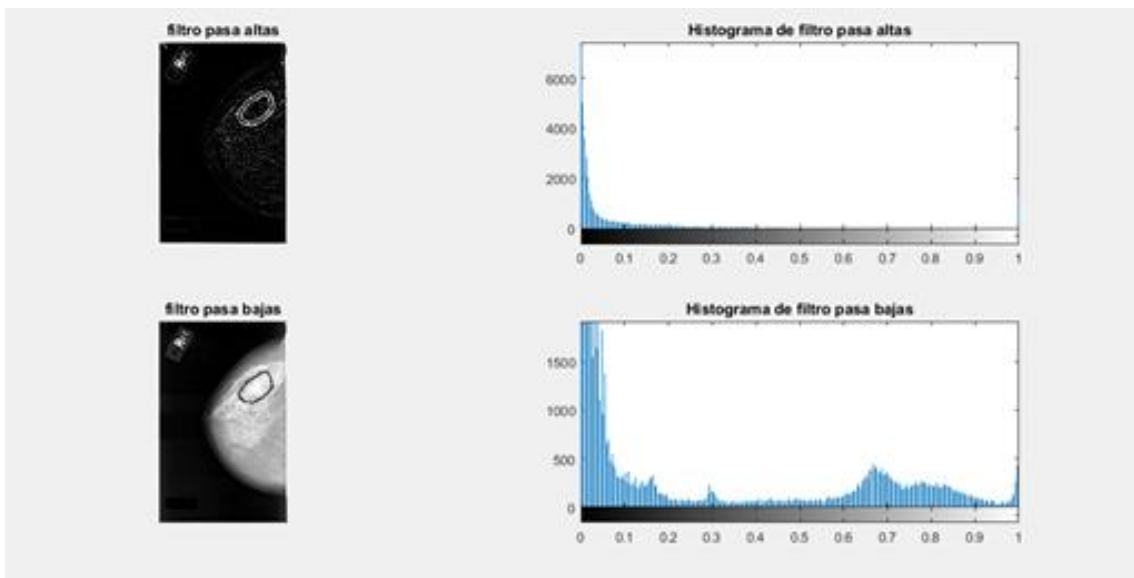


Figura 13 Imagen de una mamografía con filtros pasa altas y pasa bajas con sus respectivos histogramas.

En la Figura 14, la imagen original se le aplicó ruido con la finalidad de tratarla con un filtro Gaussiano y un filtro media 3x3 todas las figuras tienen su histograma.

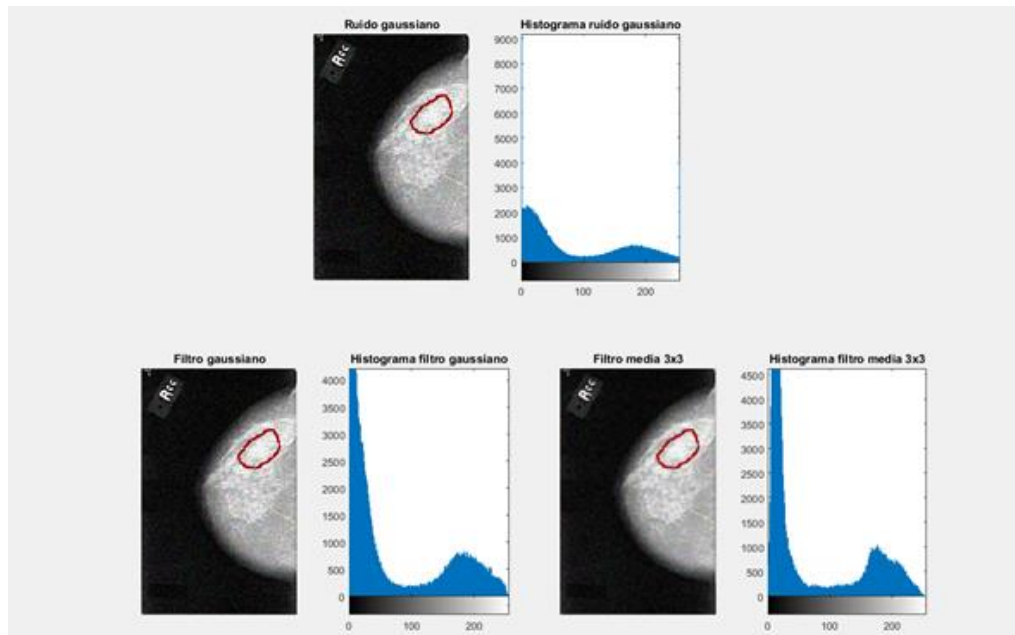


Figura 14 Imagen de una mamografía con ruido Gaussiano, filtro Gaussiano y filtro media 3x3 con sus respectivos histogramas.

### 6.3.2 Filtros lineales.

En la Figura 15 se le aplica ruido a la imagen original y se trata de recuperar con un filtro media 3x3 y un filtro media 9x9, las cuales no se pudieron recuperar por completo, todas las figuras tienen histograma.

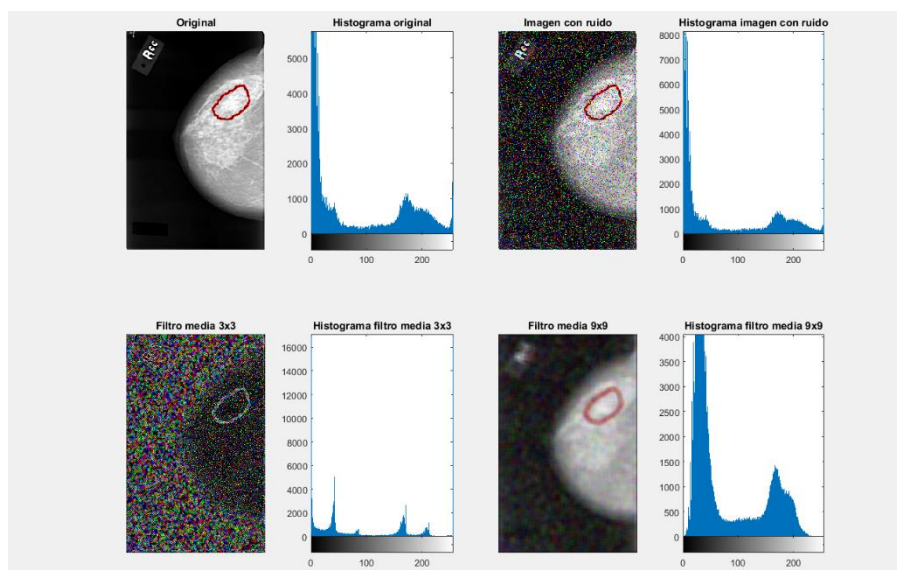


Figura 15 Imagen de una mamografía con filtro de la media con ruido aleatorio tipo sal y pimienta con mascara de 3x3 y 9x9 con su respectivo histograma.

La imagen original se le aplicó ruido gaussiano, ruido aleatorio, filtro media 1 y media 2, filtro mediana 1 y mediana 2 con estos filtros la imagen se ve mas clara, todas las imágenes tienen histograma, como se ve en la Figura 16.

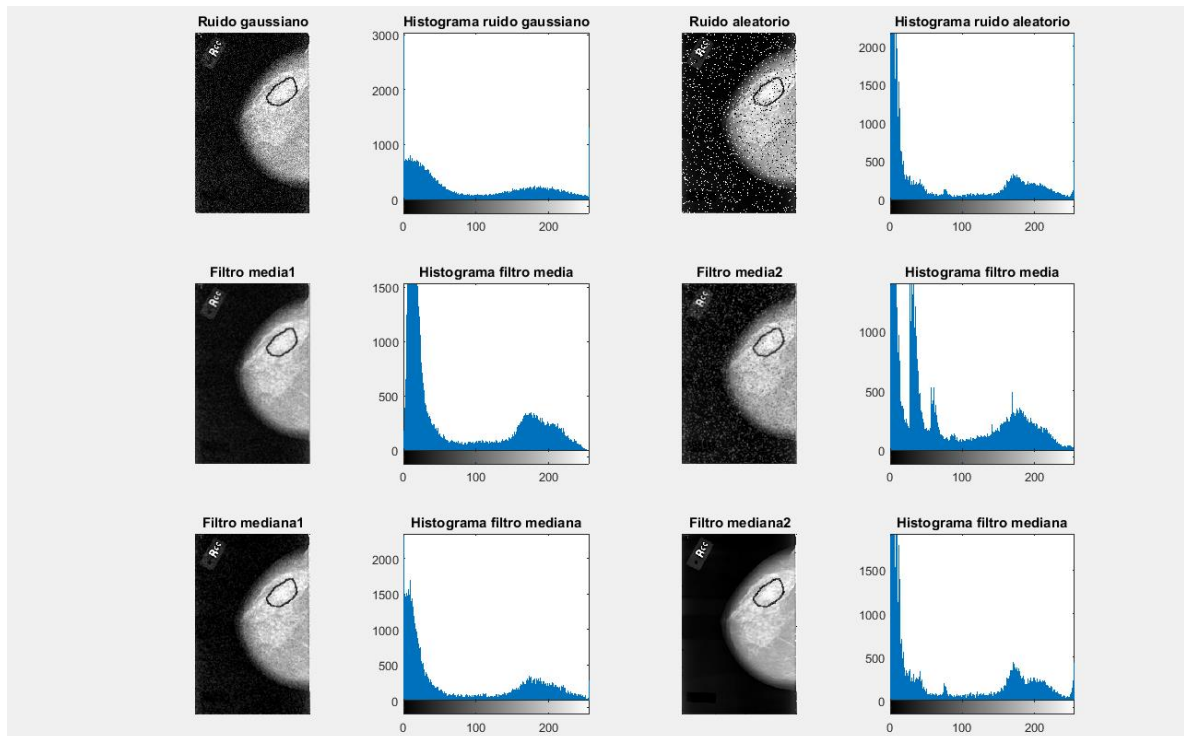


Figura 16 Imagen de una mamografía con filtro de la mediana y media con ruido Gaussiano y ruido aleatorio con su respectivo histograma.

### 6.3.3 Histograma ecualizado.

En la imagen original, se le aplicó una ecualización esta realza más la mama del fondo aclarando la imagen, como se ve en la Figura 17 con su respectivo histograma ecualizado.

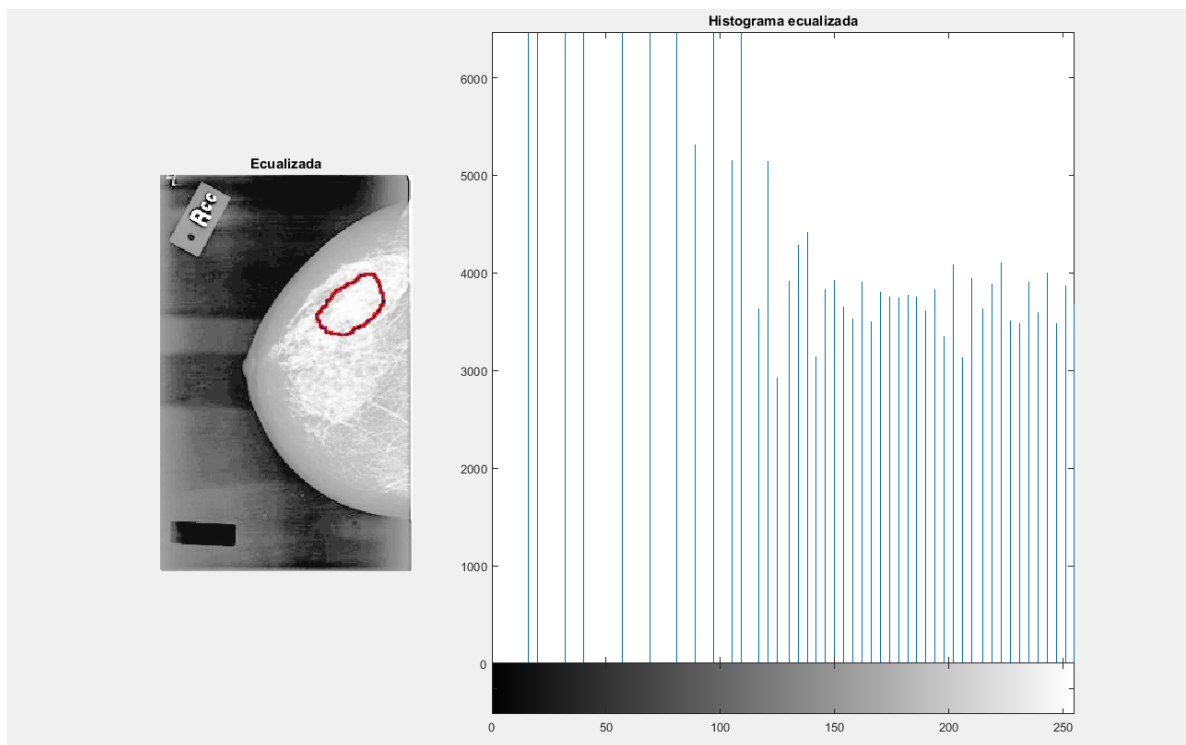


Figura 17 Imagen de una mamografía ecualizada con su respectivo histograma ecualizada.

## 6.4 Procesamiento.

### 6.4.1 Imágenes digitales.

Imagen digital original de una mamografía, en el círculo rojo puede estar el cáncer o alguna calcificación, como se ve en la Figura 10.

#### 6.4.2 Mejoramamiento del contraste.

A la imagen original se aplicó el mejoramiento del contraste el cual intensifica la mama porque los valores son más claros, como se muestra en la Figura 18.



Figura 18 Imagen de una mamografía con mejoramiento del contraste.

#### 6.4.3 Convolución.

Imagen original de la mamografía con Blur kernel muestra un efecto de desenfoque, Motion blur kernel tiene un efecto de movimiento y Sobel kernel realza el contorno de la mama, todas las imágenes tienen histograma, como se ve en la Figura 19.

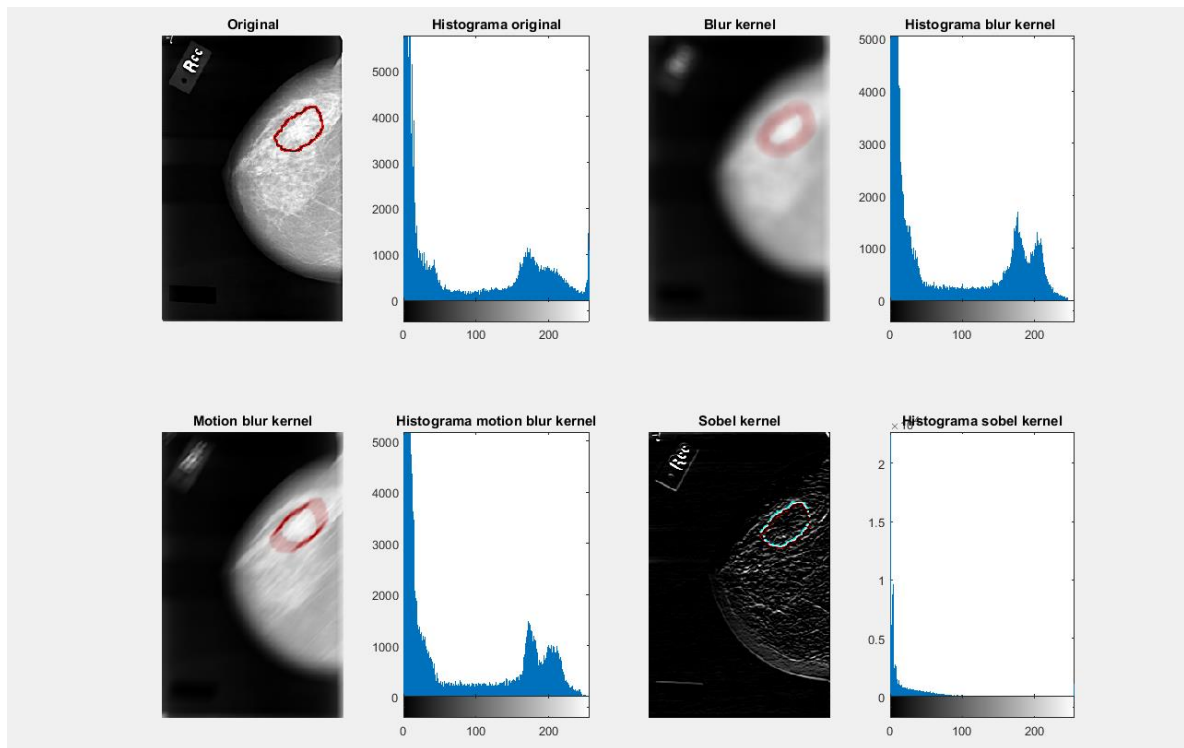


Figura 19 Imagen de una mamografía con blur kernel, motion blur kernel y sobel kernel y su respectivo histograma.

#### 6.4.4 Fourier.

En la Figura 20 se aprecia la imagen original, la cual se le aplicó el espectro de Fourier, espectro de Fourier desplazado, transformación LoG y la transformación LoG desplazado, todas las figuras tienen histograma.

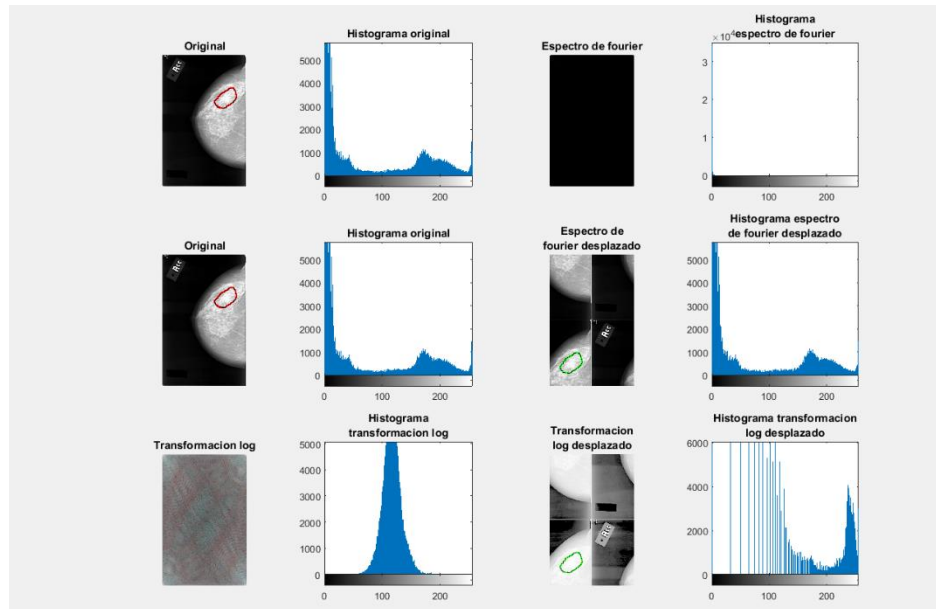


Figura 20 Imagen de una mamografía con transformada discreta de Fourier con su respectivo histograma.

#### 6.4.5 Contraste.

A la Figura 10 se le aplicó el contraste, como se muestra en la Figura 21.

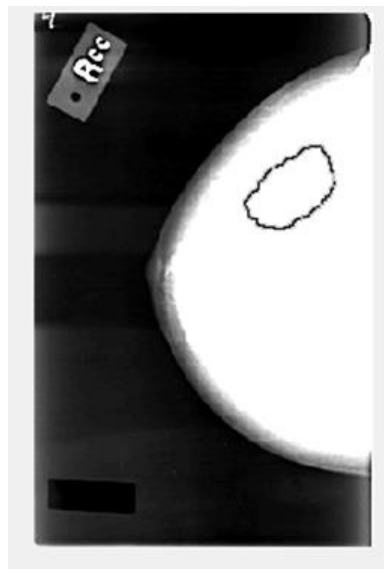


Figura 21 Imagen de una mamografía con contraste

## 6.5 Segmentación.

### 6.5.1 Segmentación por bordes.

La imagen original se le aplicó Canny/Prewitt una realza los contornos más generalizado y la otra solo una parte, todas las imágenes tienen histograma, como se ve en la Figura 22.

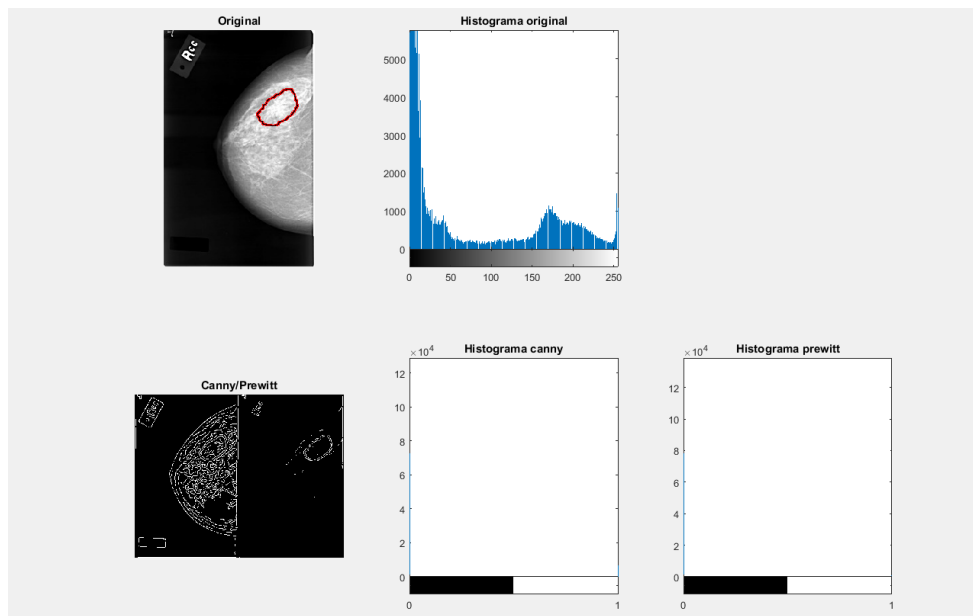


Figura 22 Imagen de una mamografía con Canny/Prewitt y su respectivo histograma.

A la imagen original se le aplicó un filtro Laplaciano esta hace los bordes más finos en el contorno de la mama, tiene su histograma, como se ve en la Figura 23.

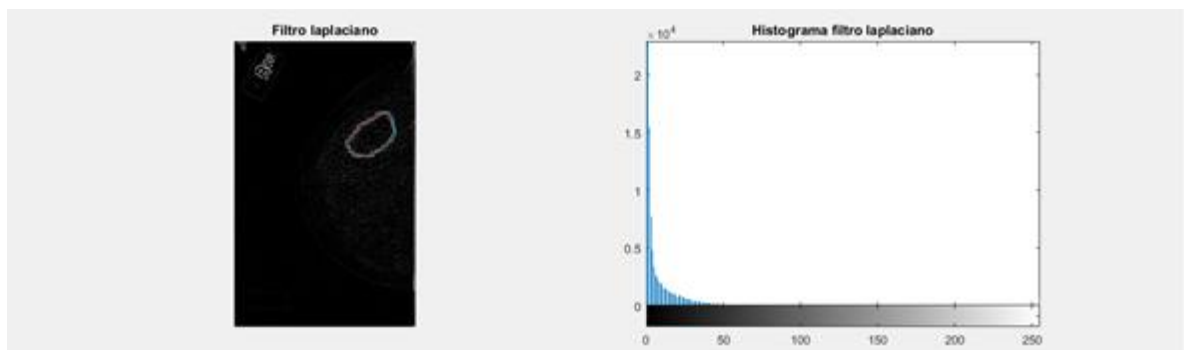


Figura 23 Imagen de una mamografía con filtro Laplaciano con su respectivo histograma.

### 6.5.2 Segmentación basada en umbralización.

A la imagen original se le aplica una segmentación basada en umbralización la mama sobresale del fondo y la técnica de umbralización la imagen se pasa a escala de grises y el fondo sobresale, todas las imágenes tienen histograma, como se puede ver en la Figura 24.

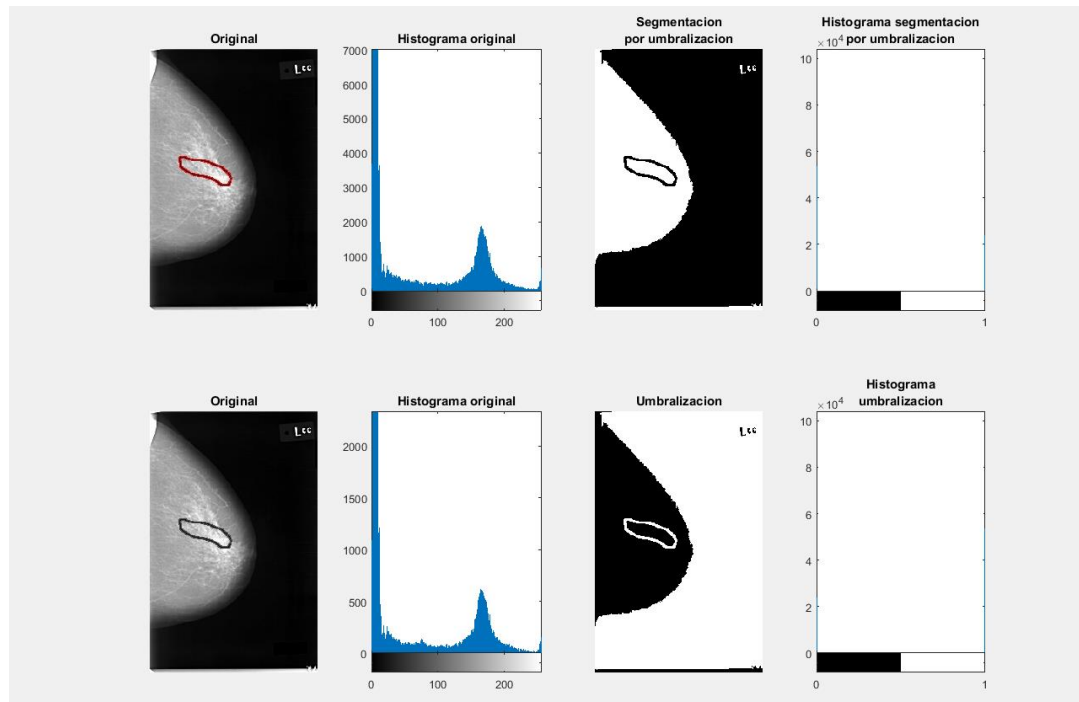


Figura 24 Imagen de una mamografía con segmentación basada en umbralización y su respectivo histograma.

### 6.5.3 Segmentación k-means.

De la imagen original, se realiza la segmentación k-means con cinco clusters para realzar la mama la imagen posee su histograma, como se muestra en la Figura 25.

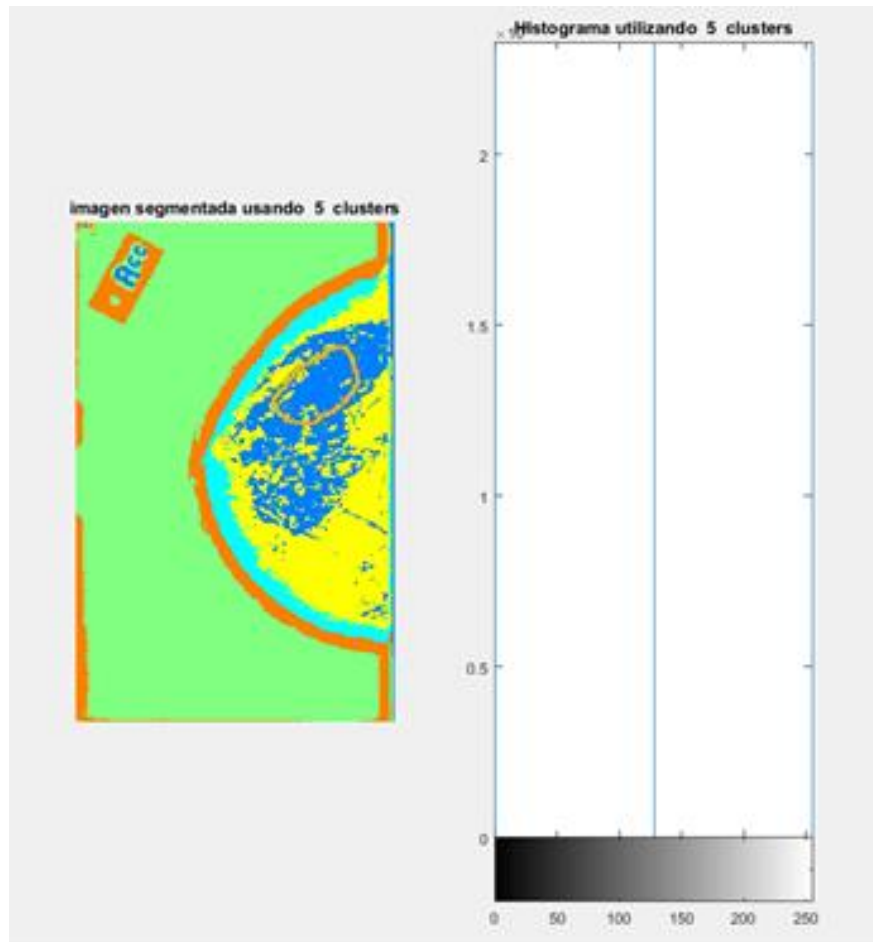


Figura 25 Imagen de una mamografía con segmentación *k-means* y su respectivo histograma.

#### 6.5.4 *Top-hat*.

A la imagen original, se le aplicó transformada *Top-hat* la cual marca ciertos contornos, tiene su histograma, como se ve en la Figura 26.

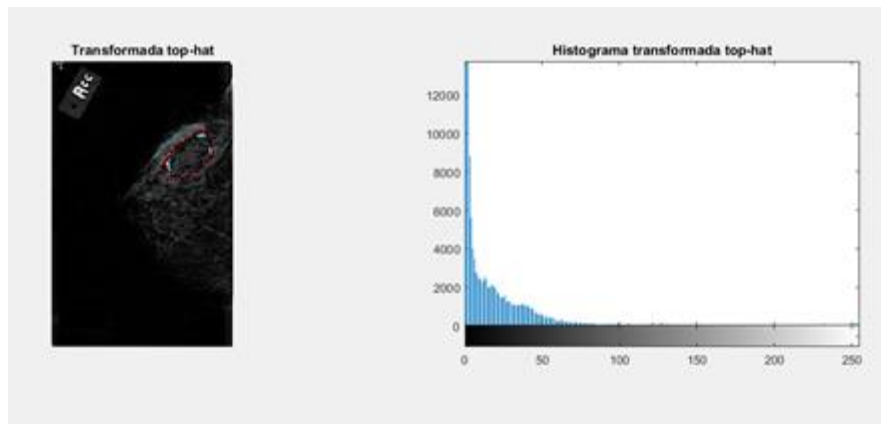


Figura 26 Imagen de una mamografía con top-hat y su respectivo histograma.

### 6.5.5 Método Otsu.

En la Figura 27 la imagen original se le aplicó una binarización y una conversión a escala de gris, todas las figuras tienen su respectivo histograma.

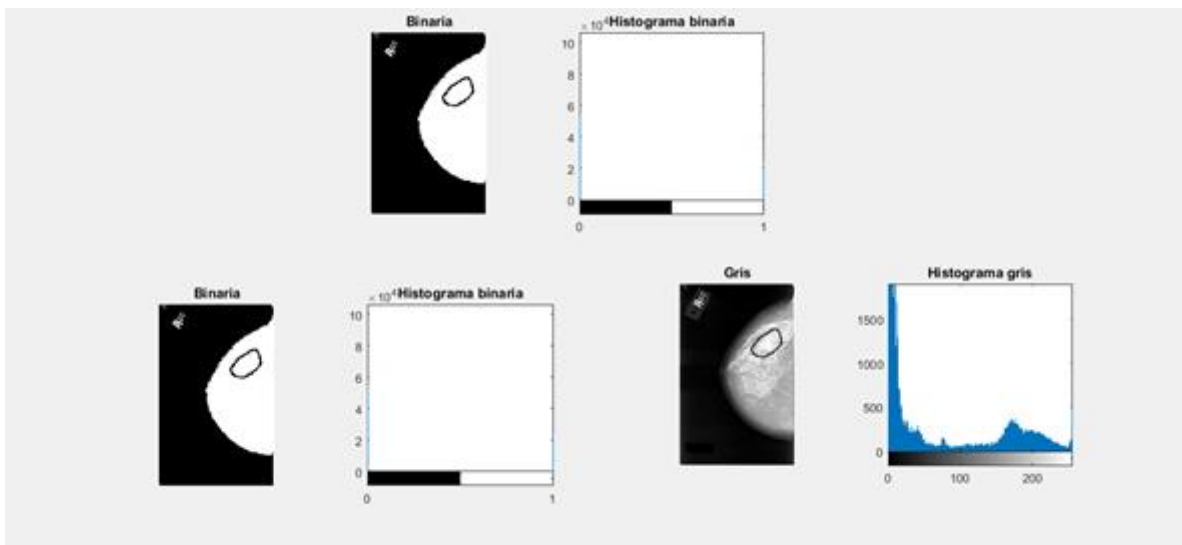


Figura 27 Imagen de una mamografía con el método Otsu y su respectivo histograma.

### 5.5.6 Operaciones morfológicas

Dentro de las operaciones morfológicas están los filtros de tamaño (erosión y dilatación), en la Figura 28 se le aplicó erosión y dilatación, todas las imágenes tienen histograma.

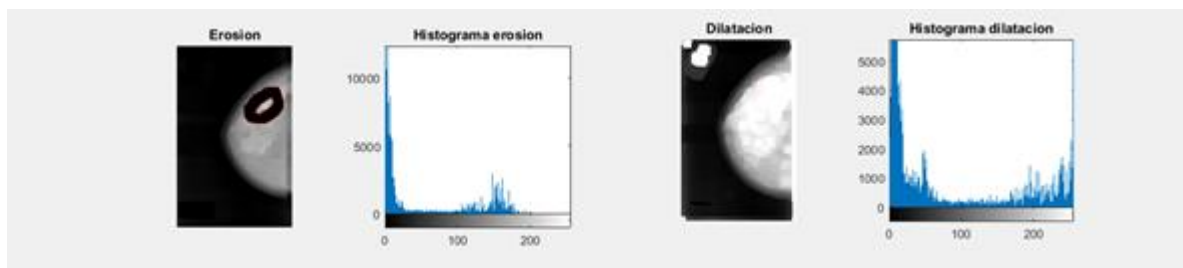


Figura 28 Imagen de una mamografía con dilatación y erosión y su respectivo histograma.

### 6.6 Python.

A continuación, se implementan las técnicas vistas en los capítulos pasados, ocupando Google Colaboratory (Python) como programa para los códigos como se puede ver en las siguientes figuras.

#### 6.6.1 ¿Qué es Python 3?

“Python es un lenguaje de programación con mucho potencial y fácil de aprender. Tiene estructuras de datos de alto nivel eficientes y un simple pero efectivo sistema de programación orientado a objetos. La elegante sintaxis de Python y su **“tipado”** dinámico, junto a su naturaleza interpretada lo convierten en un lenguaje ideal para **“scripting”** y desarrollo rápido de aplicaciones en muchas áreas, para la mayoría de plataformas.

El intérprete de Python y la extensa librería estándar se encuentran disponibles libremente en código fuente y de forma binaria para la mayoría de las plataformas desde la Web de Python, <https://www.python.org/>, y se pueden distribuir libremente. El mismo sitio también contiene

distribuciones y referencias a muchos módulos libres de Python de terceros, programas, herramientas y documentación adicional.

El intérprete de Python es fácilmente extensible con funciones y tipos de datos implementados en C o C++ (u otros lenguajes que permitan ser llamados desde C). Python también es apropiado como un lenguaje para extender aplicaciones modificables.” [42]

### 6.6.2 ¿Qué es Google Colaboratory?

Google Colaboratory o “Colab” es un programa en línea proporcionado por Google Research que permite ejecutar, crear y modificar códigos por medio del navegador. Colab es un servicio gratuito que no requiere configuración alguna y ofrece sin costo adicional recursos como las unidades de procesamiento gráfico (del inglés Graphics Processing Unit, GPU) y su unidad de procesamiento tensorial (del inglés Graphic Processor Unit, TPU) [43].

Su mayor ventaja es que los usuarios que tengan una cuenta de Google pueden acceder de forma gratuita a Colab, los recursos que proporciona Colab (GPU y TPU) son por medio de internet, el GPU viene con “CPU Intel Xeon a 2,20 GHz, 13 GB de RAM, un acelerador Tesla K80 y 12 GB de VRAM GDDR5” y el TPU con una “CPU Intel Xeon a 2,30 GHz, 13 GB de RAM y una TPU en la nube con 180 teraflops de potencia de cálculo” [44].

La mayor desventaja de Colab es “La **demanda y asignación a aceleradores** de hardware funciona en tiempo real, esto produce que, en ocasiones, haya fluctuaciones en el acceso a GPU y TPU.” [45]

## 6.7 Pre procesamiento.

### 6.7.1 Conversión a escala de grises.

En la Figura 29 se ve la imagen original de una mamografía con su histograma, el cual tiene un círculo rojo con una posible anomalía (cáncer o calcificación), para poder segmentar la imagen se le aplica un pre procesamiento a escala de grises, como se ve en la Figura 30.

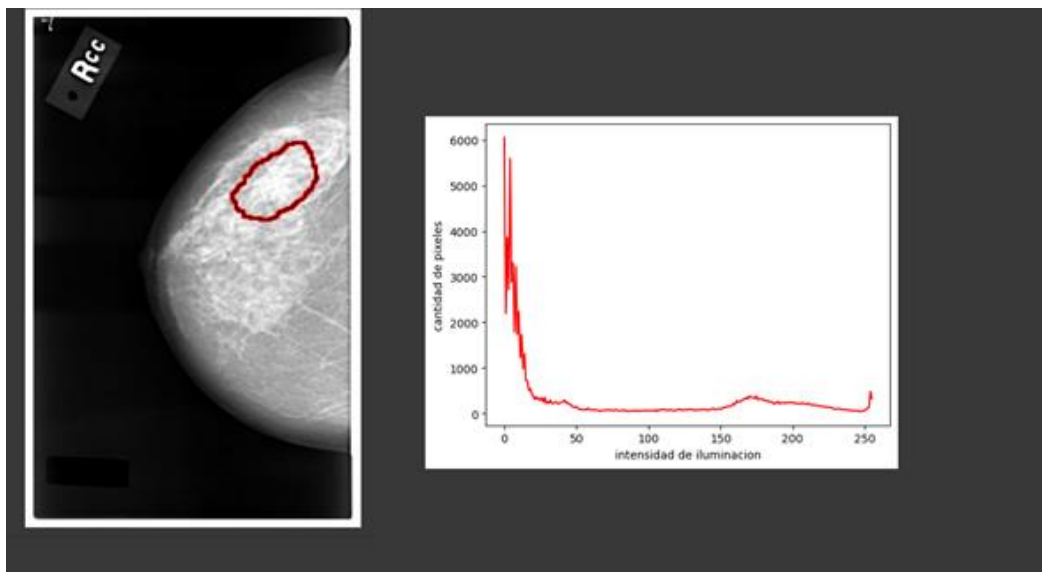


Figura 29 Imagen original de una mamografía con su respectivo histograma.

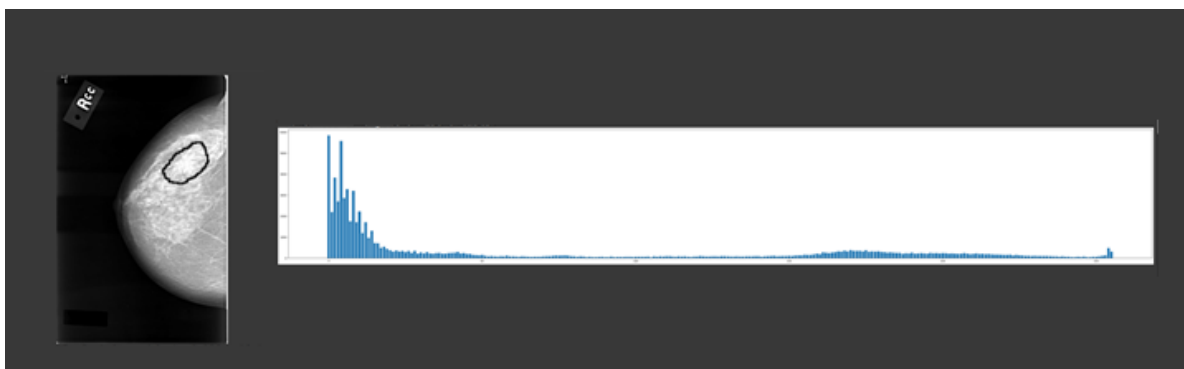


Figura 30 Imagen de una mamografía con una conversión de escala de grises con su respectivo histograma

### 6.7.2 Conversión de gris a blanco y negro (binarización).

De la imagen original se le aplica la binarización con la finalidad de separar el fondo negro y los tejidos de interés de la mama, tal como se ve en la Figura 31.



Figura 31 Imagen de una mamografía con una conversión de gris a blanco y negro (binarización) con su respectivo histograma.

### 6.7.3 Filtros en el dominio espacial.

El filtro pasa bajas reduce el ruido y cualquier otro efecto que pudiera presentarse en una imagen, este filtro elimina los rangos de frecuencia altas y el filtro pasa alto permiten pasar la frecuencia alta filtrando las bajas, eliminando ruido, tal como se muestra en la Figura 32.

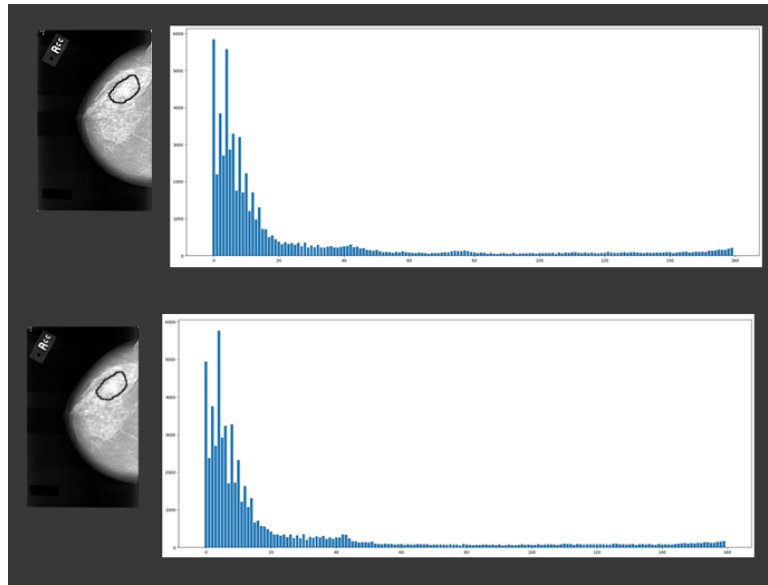


Figura 32 La imagen de arriba muestra una mamografía con filtro pasa bajo y su respectivo histograma y la imagen de abajo muestra una mamografía con filtro pasa altas y su respectivo histograma.

#### 6.7.4 Filtro lineales.

El filtro Gaussiano deja los bordes, eliminando ruido y suavizando la imagen, pero esta no es nítida, como se ve en la Figura 33.

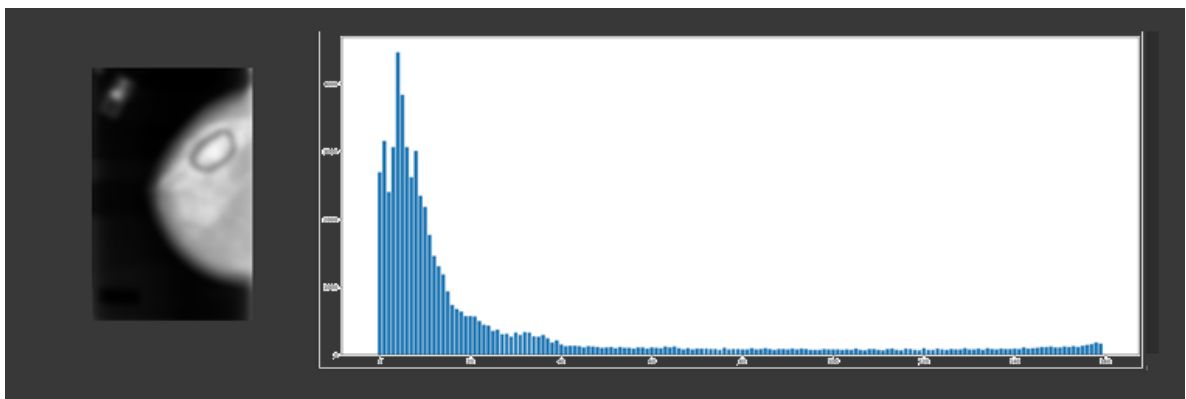


Figura 33 Imagen de una mamografía con filtro Gaussiano y su respectivo histograma.

El filtro de diferencia nos permite resaltar el objeto de interés con el fondo por medio de sus coeficientes positivos y negativos realzando así los bordes de la mama, tal como se puede ver en la Figura 34.

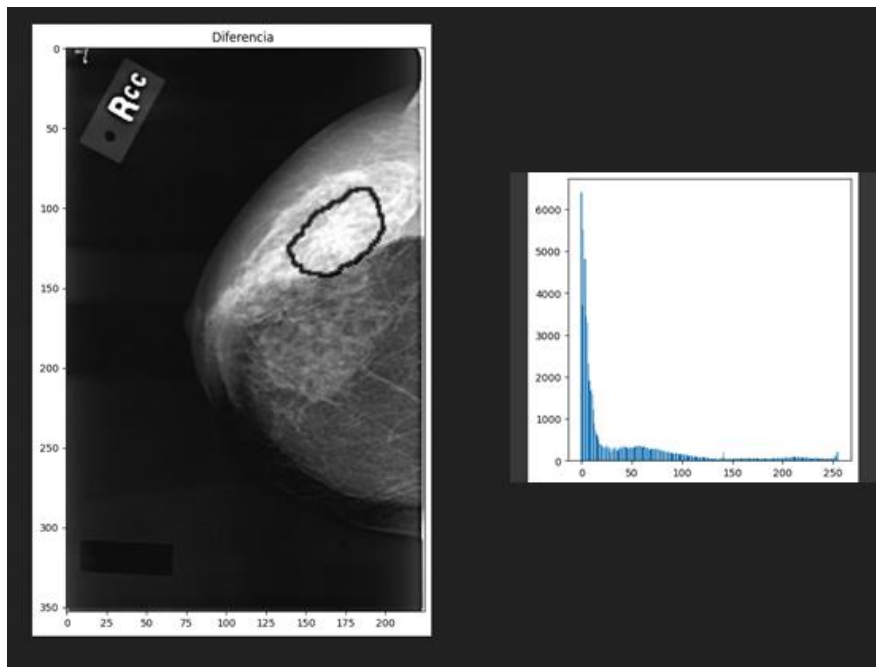


Figura 34 Imagen de una mamografía con filtro de diferencia y su respectivo histograma.

El filtro mediana asigna al pixel central la mediana de todos los pixeles en la imagen con la finalidad de reducir el ruido de sal pimienta que se encuentre en la imagen de la mamografía, esto ayuda a quitar ruidos producidos al hacer una mamografía, tal como podemos ver en la Figura 35.

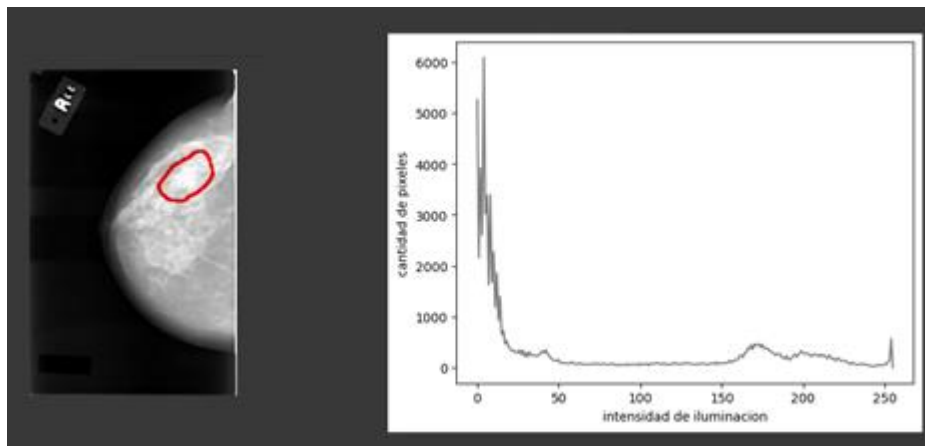


Figura 35 Imagen de una mamografía con filtro mediana y su respectivo histograma.

### 6.7.5 Ecuación del histograma.

A la imagen original se le aplica el método de ecualización dando una imagen más blanca esto es debido a que el contraste es uniforme, tal como se puede ver en la Figura 36.

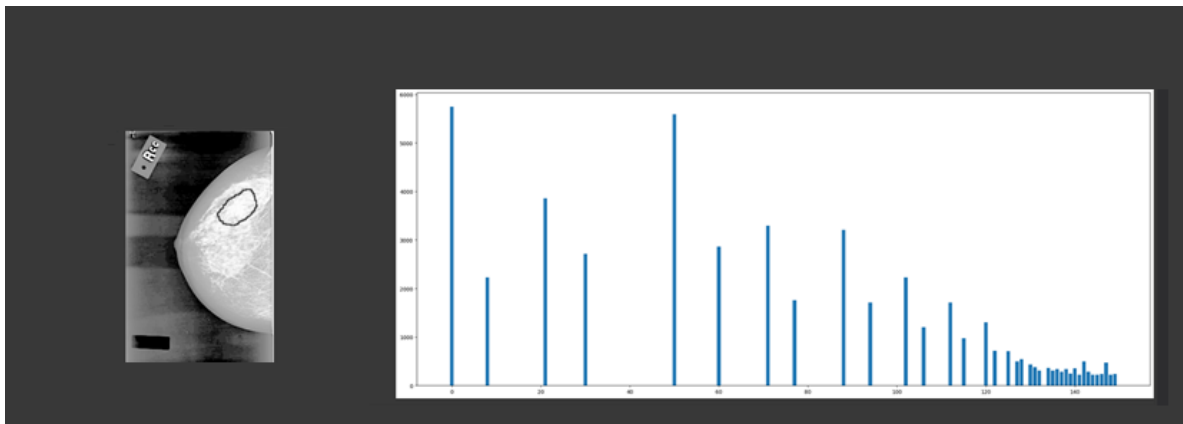


Figura 36 Imagen de una mamografía ecualizada con su respectivo histograma ecualizada.

## 6.8 Procesamiento.

### 6.8.1 Imágenes digitales.

Retomando lo que es una imagen digital, se tiene la imagen original de la mama que por algún medio electrónico ya fue digitalizada, tal como se ve en la Figura 37.

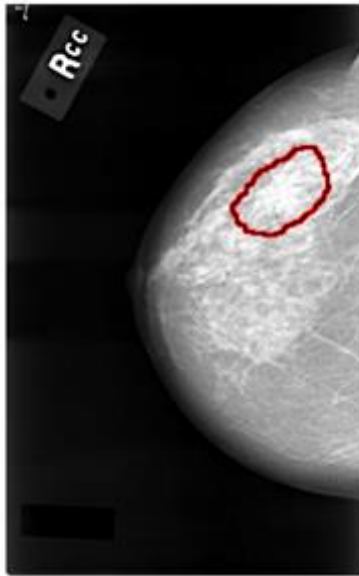


Figura 37 Imagen digital original de una mamografía.

### 6.8.2 Mejoramiento del contraste.

En la Figura 38 se mejora el contraste de la imagen original, el cual permite ver diferentes elementos de la imagen.

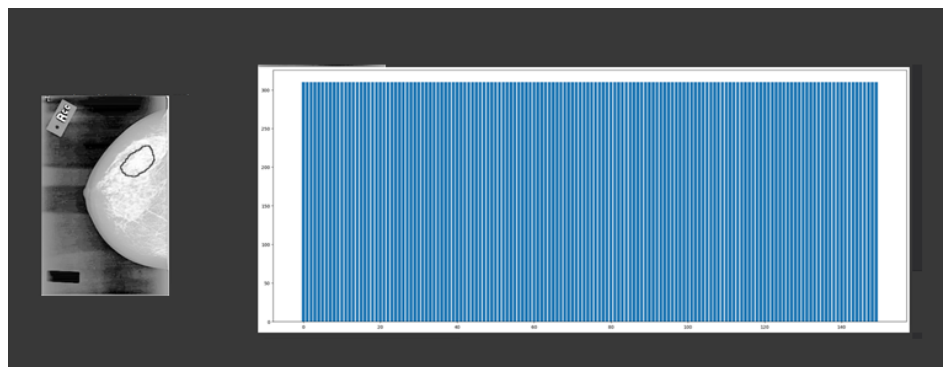


Figura 38 Imagen de una mamografía con mejoramiento del contraste y su respectivo histograma.

### 6.8.3 Convolución.

En la Figura 39 se puede apreciar la imagen resultante del método de la convolución, el cual permite detectar patrones en la imagen, para a su vez detectar realces basados en kernel.

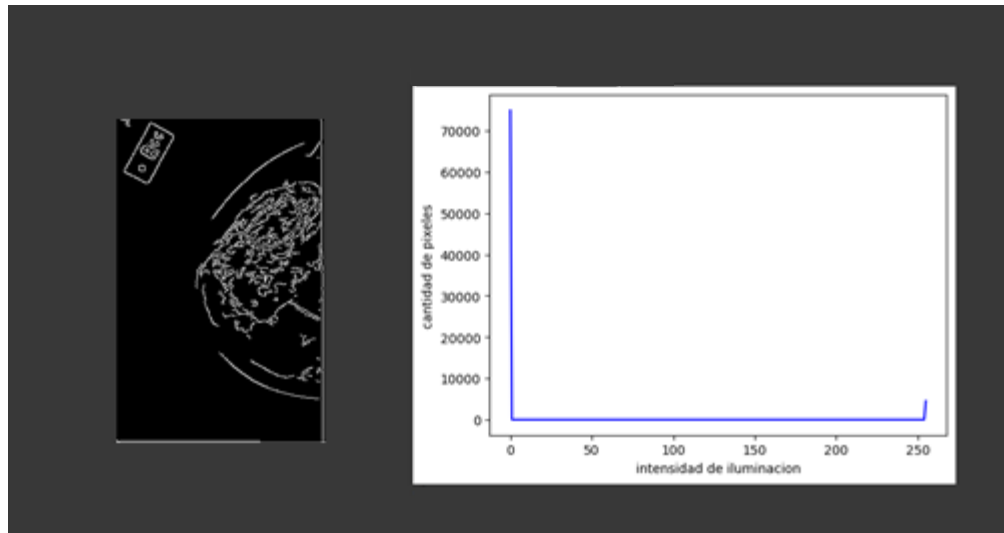


Figura 39 Imagen de una mamografía con convolución y su respectivo histograma.

### 6.8.4 Fourier.

A la Figura 30 (gris) se le aplica un desenfoque para preparar la imagen y pasarla por el filtro de Fourier 2d, el cual nos ajusta la imagen, tal como se puede ver en la Figura 40.

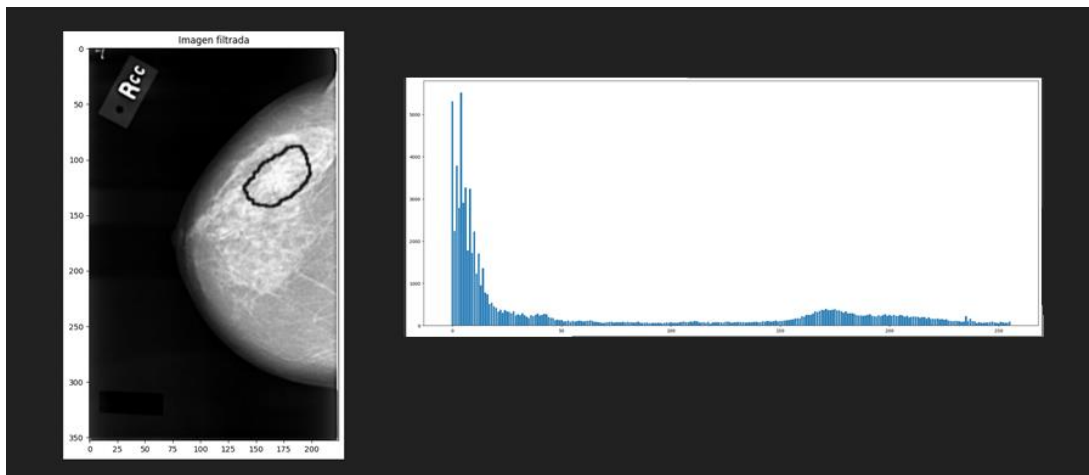


Figura 40 Imagen de una mamografía con Fourier y su respectivo histograma.

### 6.8.5 Contraste.

Aplicando el método de contraste a la Figura 30 (gris), se aprecia una distribución uniforme, tal como se puede ver en la Figura 41.

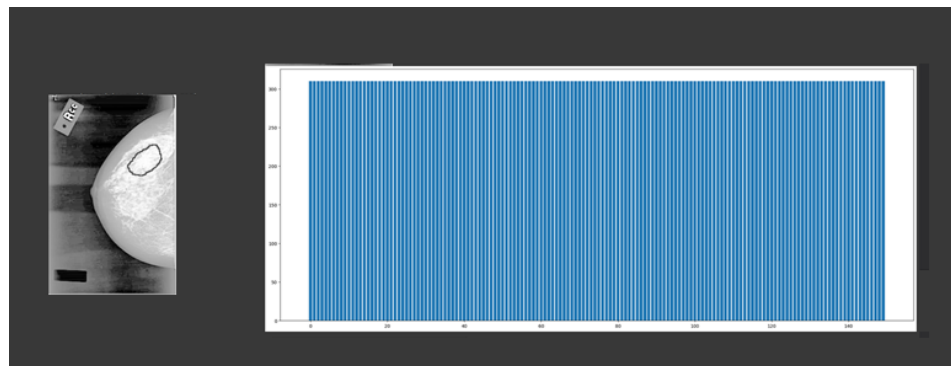


Figura 41 Imagen de una mamografía con contraste y su respectivo histograma.

## 6.9 Segmentación.

### 6.9.1 Segmentación por bordes.

La detección de bordes de Canny permite eliminar gran parte de la información de la imagen, con la finalidad de solo mostrar las líneas o contornos del objeto a estudiar esto ayuda a quitar pixeles flotantes o ruido, tal como se puede ver en la Figura 42 que muestra los bordes de los tejidos de la mama.

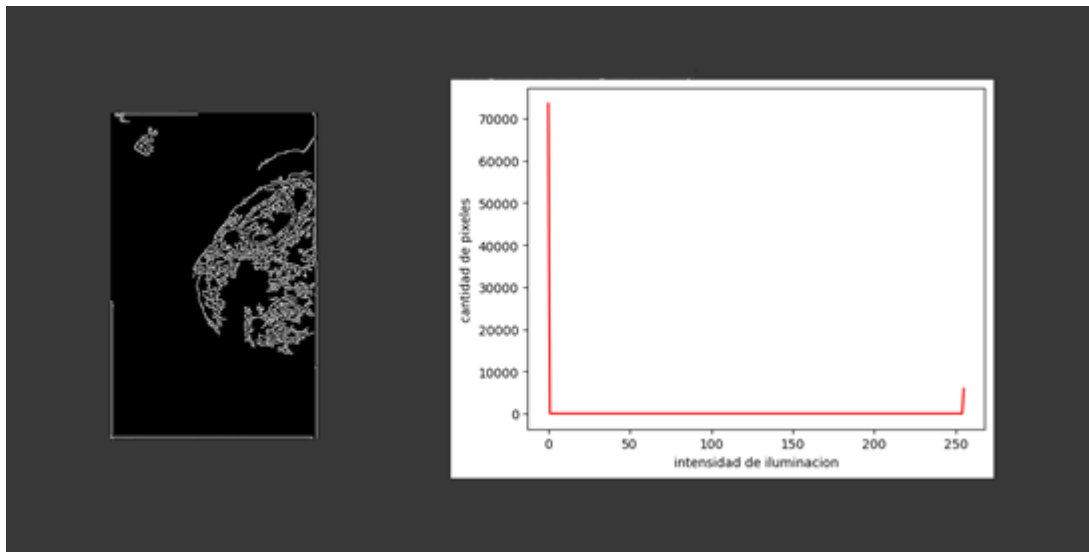


Figura 42 Imagen de una mamografía con segmentación de bordes (Canny) y su respectivo histograma.

De igual manera este filtro con detección de bordes, es la combinación de un filtro con el método de detección de bordes el cual nos permite observar los bordes de la mama con la diferencia de que estos se encuentran con líneas más gruesas y definidas, tal como se ve en la Figura 43.

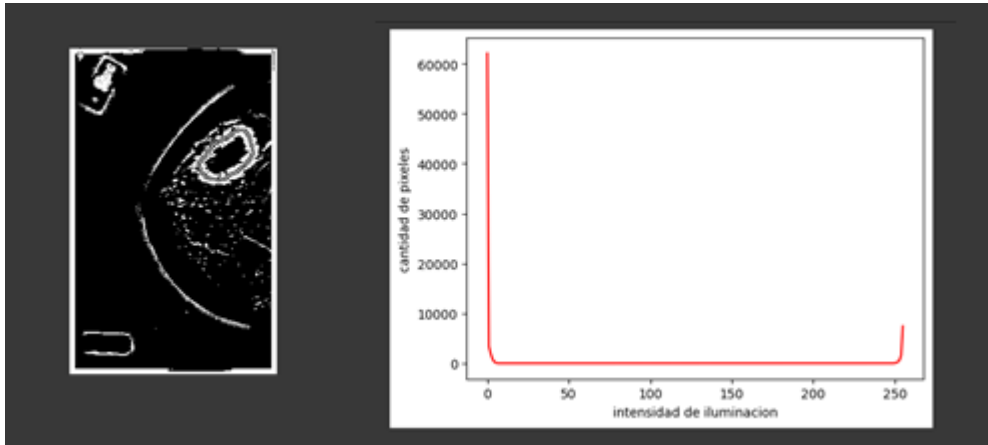


Figura 43 Imagen de una mamografía con filtro de detección de bordes y su respectivo histograma.

### 6.9.2 Filtro Laplaciano.

El filtro Laplaciano es un método de detección de bordes el cual permite ver los bordes de la mama y poder apreciar el objeto a estudiar, tal como se ve en la Figura 44.

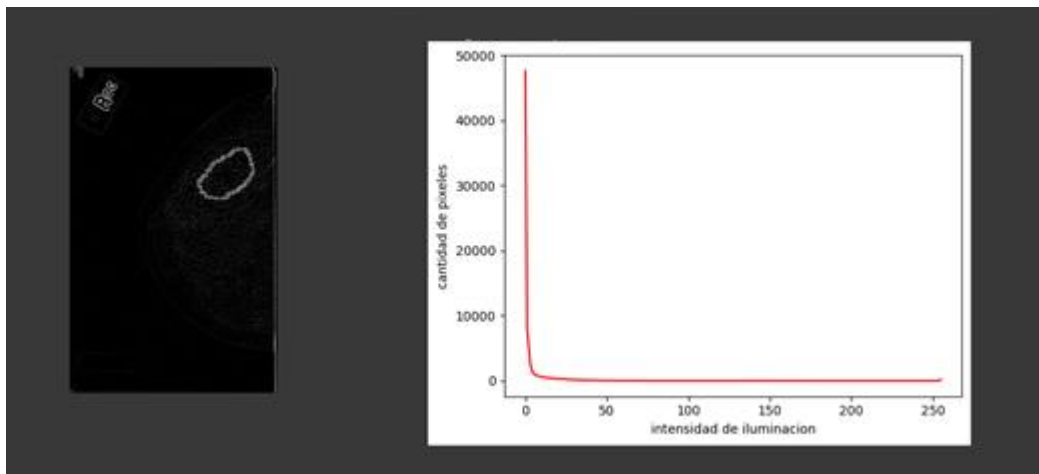


Figura 44 Imagen de una mamografía con filtro Laplaciano y su respectivo histograma.

### 6.9.3 Segmentación basada en umbralización.

Al segmentar la imagen de la mama por una umbralización nos permite tener los diferentes niveles de la escala de grises, tal como se ve en la Figura 45.

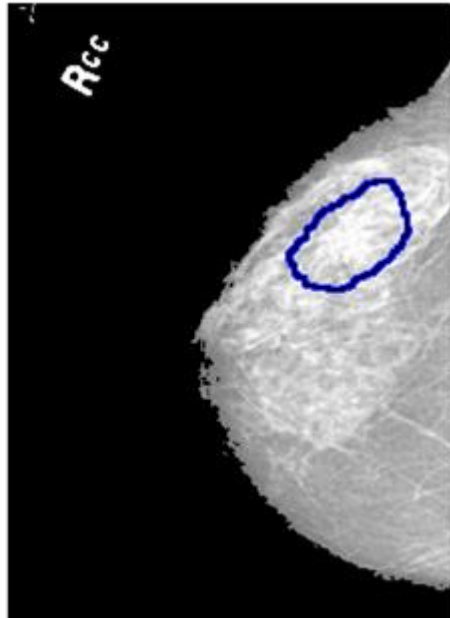


Figura 45 Imagen de una mamografía con segmentación basada en umbralización.

### 6.9.4 Segmentación k-means.

Al segmentar la imagen original en k grupos nos permite ver una escala de grises diferente a la original, tal como se puede ver en la Figura 46.

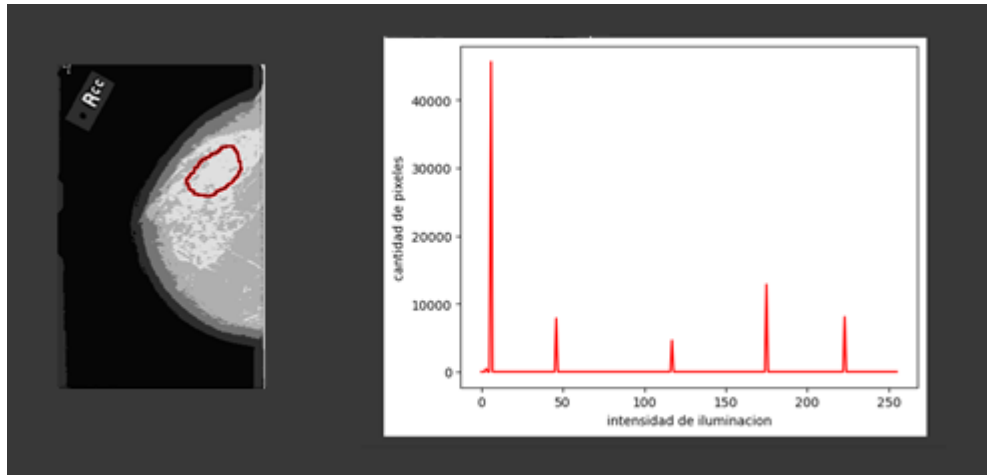


Figura 46 Imagen de una mamografía con segmentación *k-means* y su respectivo histograma.

### 6.9.5 Top-hat.

Esta técnica nos permite resaltar tejidos de la mama representados en blanco sobre un fondo negro, lo cual permite una mejor apreciación del objeto a ver, tal como se puede apreciar en la Figura 47.

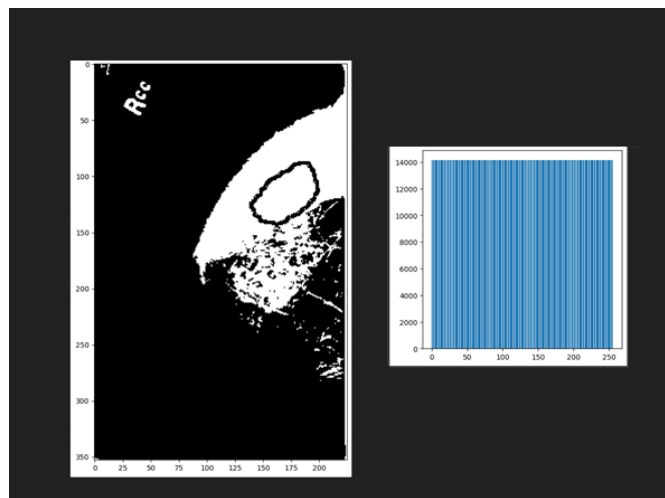


Figura 47 Imagen de una mamografía con *top-hat* y su respectivo histograma.

### 6.9.6 Método Otsu.

A la imagen original se le aplica el método Otsu el cual es similar al umbral, tal como se ve en la siguiente Figura 48.

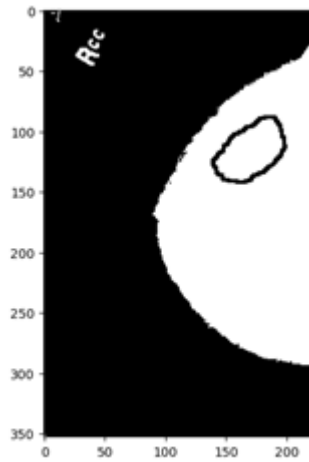
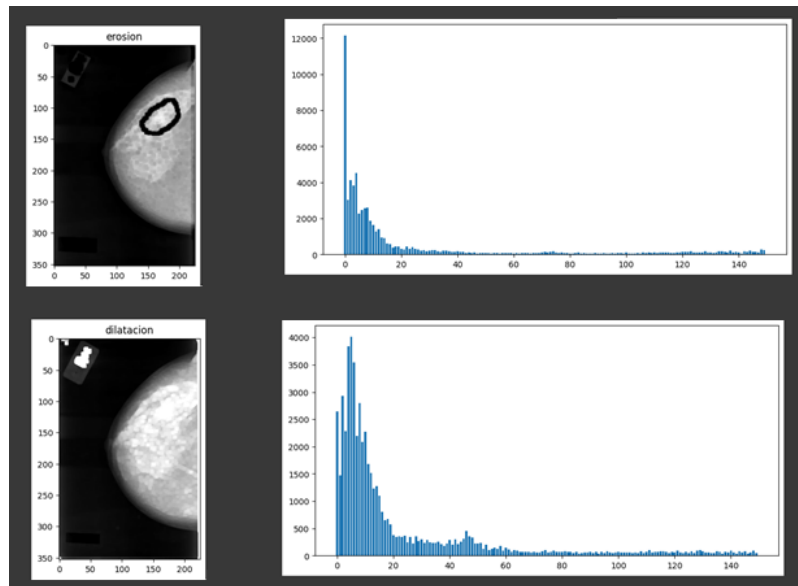


Figura 48 Imagen de una mamografía con el método Otsu.

### 6.9.7 Operaciones morfológicas.

La Figura 49 muestra en la parte de arriba una mamografía con un filtro de erosión, eliminando las líneas más finas y en la parte inferior muestra el filtro de dilatación la cual se aprecia más grande debido a que este filtro engrosa las líneas.



*Figura 49 En la parte superior se muestra la imagen de una mamografía con erosión y su respectivo histograma y en la parte inferior se muestra la imagen de una mamografía con dilatación y su respectivo histograma.*

En el apartado de anexo (pág. 78) se pueden consultar más técnicas aplicadas a la mamografía.

## ***Capítulo 7 Resultados.***

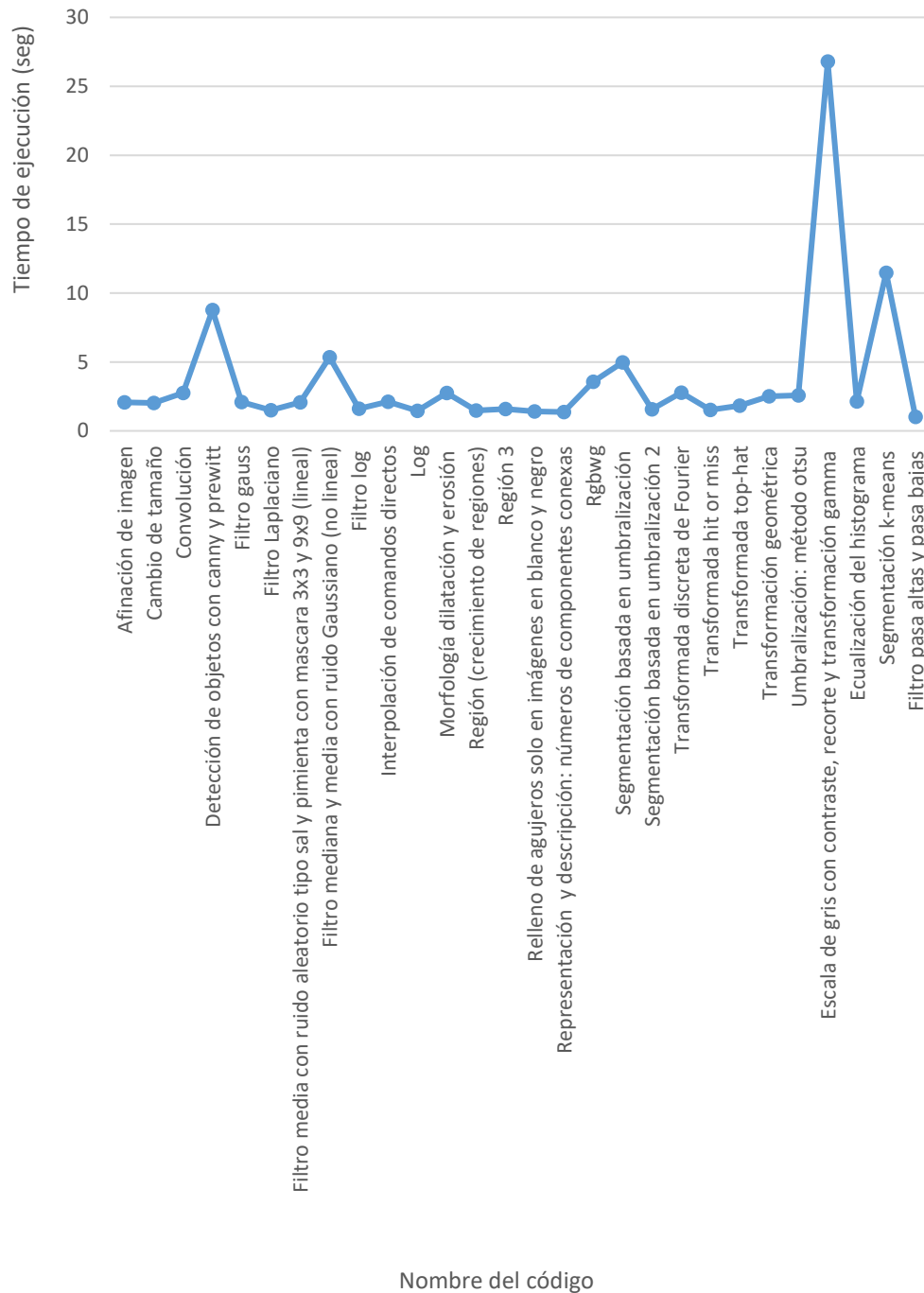
Se realizaron un total de 65 códigos, 28 son de Matlab (2017a) y 37 códigos en Google colaboratory (Python 3), se ejecutaron en 3 equipos de cómputo diferentes. Como se puede observar en los tiempos de ejecución de las tablas 1 y 2 se realizaron en una Dell optiplex 755 (equipo de cómputo del laboratorio de matemáticas) con un procesador Core™ Duo E6550 a 2.33 GHz con una memoria RAM 2.50 GB con un sistema operativo Windows 7 ultimate service pack 1 basado en x64, con un GPU Intel Q25 Express Chipset Family, el tiempo máximo para los códigos de Matlab es de 26.795212 segundos (seg) del código de escala de gris con contraste, recorte y transformación gamma y el tiempo mínimo es de 1.010258 seg del código de filtro pasa altas y pasa bajas.

En los códigos de Python el tiempo máximo es de 28.534855 seg del código de filtros pasa altos, bajos, bordes y Sobel y el tiempo mínimo es de 0.643203 seg del código del filtro Laplaciano.

Tabla 1. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el laboratorio de matemáticas.

Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución (seg)
Afinación de imagen	Sí		2.078878
Cambio de tamaño	Sí		2.018393
Convolución	Sí		2.749738
Detección de objetos con Canny y Prewitt	Sí		8.778288
Filtro Gauss	Sí		2.102033
Filtro Laplaciano	Sí		1.490043
Filtro media con ruido aleatorio tipo sal y pimienta con mascara 3x3 y 9x9 (lineal)	Sí		2.065534
Filtro mediana y media con ruido Gaussiano (no lineal)	Sí		5.345337
Filtro log	Sí		1.616397
Interpolación de comandos directos	Sí		2.111904
Log	Sí		1.446349
Morfología dilatación y erosión	Sí		2.743560
Región (crecimiento de regiones)	Sí		1.468240
Región 3	Sí		1.595209
Relleno de agujeros solo en imágenes en blanco y negro	Sí		1.406599
Representación y descripción: números de componentes conexas	Sí		1.378123
RGBWG	Sí		3.566993
Segmentación basada en umbralización	Sí		4.975153
Segmentación basada en umbralización 2	Sí		1.556193
Transformada discreta de Fourier	Sí		2.773828
Transformada hit or miss	Sí		1.518690
Transformada top-hat	Sí		1.828928
Transformación geométrica	Sí		2.518056
Umbralización: método Otsu	Sí		2.579718
Escala de gris con contraste, recorte y transformación gamma		No	26.795212
Ecuilización del histograma	Sí		2.138721
Segmentación k-means	Sí		11.476838
Filtro pasa altas y pasa bajas	Sí		1.010258

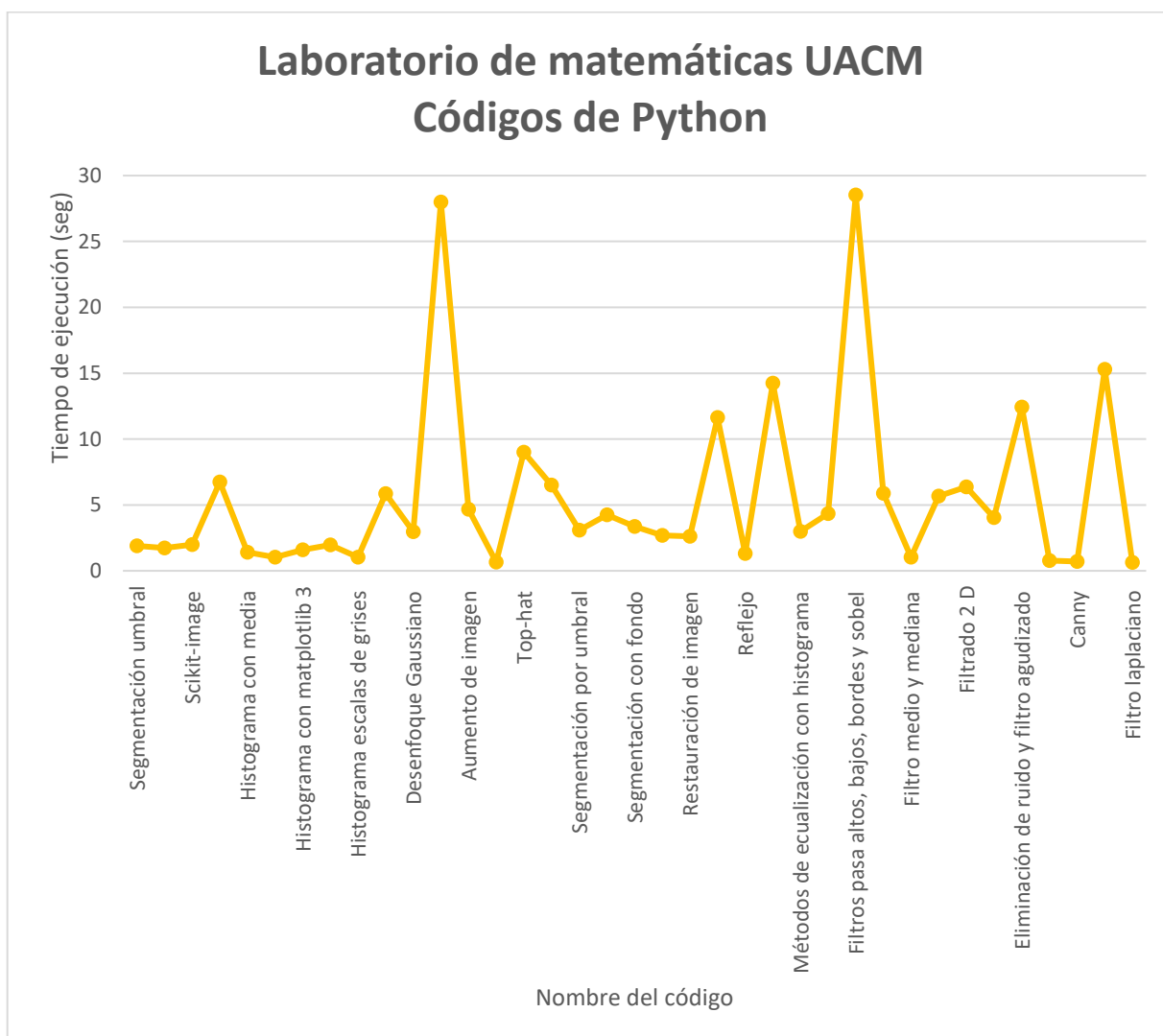
## Laboratorio de matemáticas UACM Códigos de Matlab



Gráfica 2. Tiempo de ejecución (seg) de los códigos de Matlab (2017a).

Tabla 2. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el laboratorio de matemáticas.

Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución (seg)
Segmentación umbral	Sí		1.892159
Segmentación k-means	Sí		1.731335
Scikit-image	Sí		1.999111
Procesamiento	Sí		6.747378
Histograma con media	Sí		1.403661
Histograma 4	Sí		1.033016
Histograma con matplotlib 3	Sí		1.603138
Histograma de una imagen escala de grises 2	Sí		1.954186
Histograma escalas de grises	Sí		1.041744
Filtro edges y umbralización	Sí		5.852472
Desenfoque Gaussiano	Sí		2.964070
Cuantificación de imágenes con k-means	Sí		27.992971
Aumento de imagen	Sí		4.659961
Umbralización	Sí		0.655882
Top-hat	Sí		9.007652
Sobel	Sí		6.502272
Segmentación por umbral	Sí		3.080720
Segmentación por canal		No	4.238274
Segmentación con fondo	Sí		3.365317
Sampling	Sí		2.693394
Restauración de imagen	Sí		2.615951
Región de segmentación	Sí		11.642963
Reflejo	Sí		1.313075
Operadores morfológicos	Sí		14.244902
Métodos de ecualización con histograma	Sí		2.990467
k-means	Sí		4.344882
Filtros pasa altos, bajos, bordes y Sobel	Sí		28.534855
Filtros con detección de bordes	Sí		5.869533
Filtro medio y mediana	Sí		1.029369
Filtro agudizado	Sí		5.662217
Filtrado 2 D	Sí		6.360349
Extracción de canal RGB con umbralización	Sí		4.046454
Eliminación de ruido y filtro agudizado	Sí		12.434626
Convertir imagen a binario	Sí		0.774487
Canny	Sí		0.701197
Filtro Wiener	Sí		15.285634
Filtro Laplaciano	Sí		0.643203



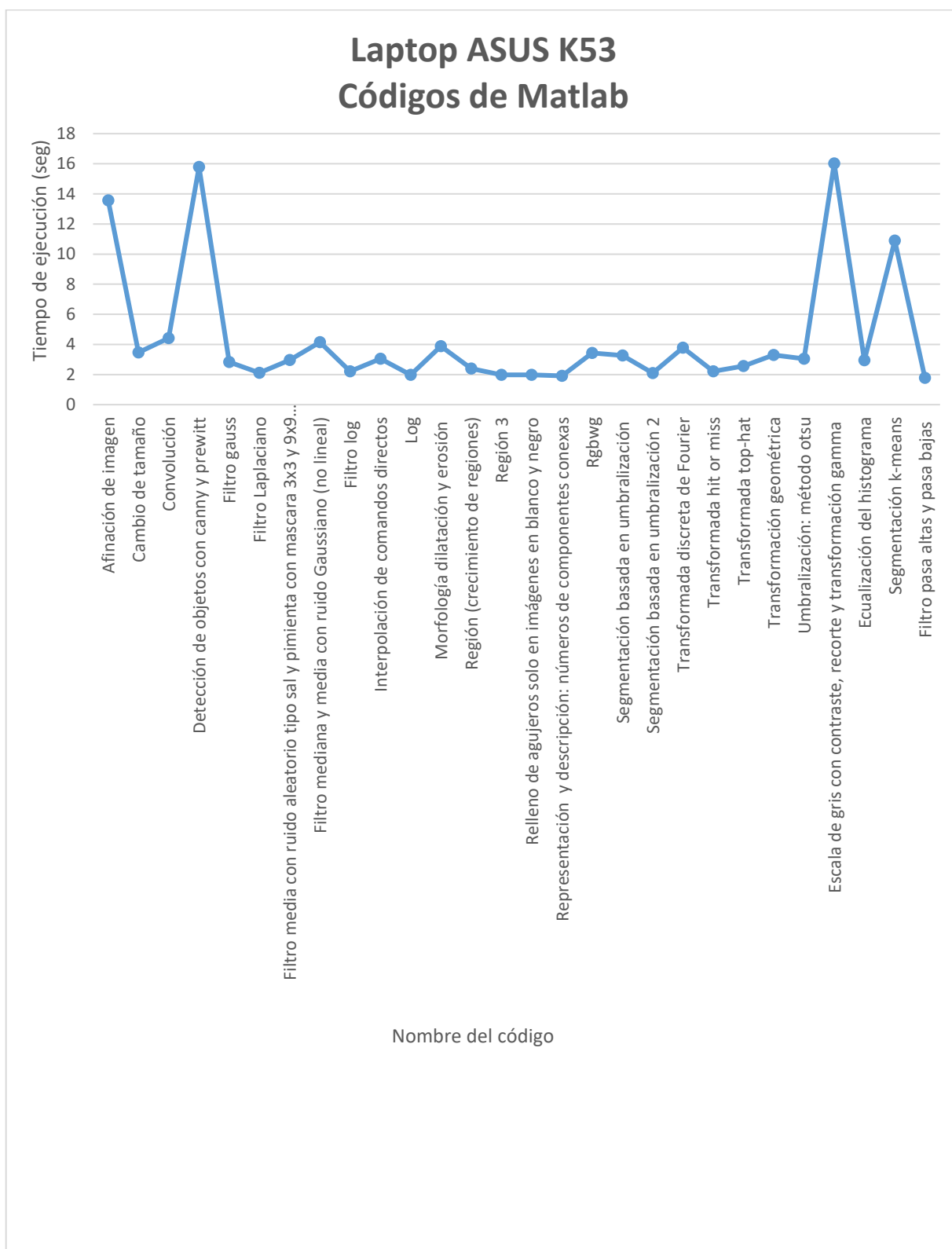
Gráfica 3. Tiempo de ejecución (seg) de los códigos de Google colaboratory (Python 3)

Los tiempos de ejecución de las tablas 3 y 4 se realizaron en una laptop ASUS K53 con procesador AMD A4-3305M a 1.90 GHz con una memoria RAM 8 GB con un sistema operativo Windows 10 Pro basado en x64 con HD Gráfica Radeon, el tiempo máximo para los códigos de Matlab es de 16.01944 [s] del código de escala de grises con contraste, recorte y transformación gamma y el tiempo mínimo es de 1.771539 [s] del código de filtro pasa altas y pasa bajas.

En los códigos de Python el tiempo máximo es de 14.69952 [s] del código de filtros pasa altos, bajos, bordes y Sobel y el tiempo mínimo es de 0.384822 [s] del código del filtro Laplaciano.

Tabla 3. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en la laptop ASUS K53.

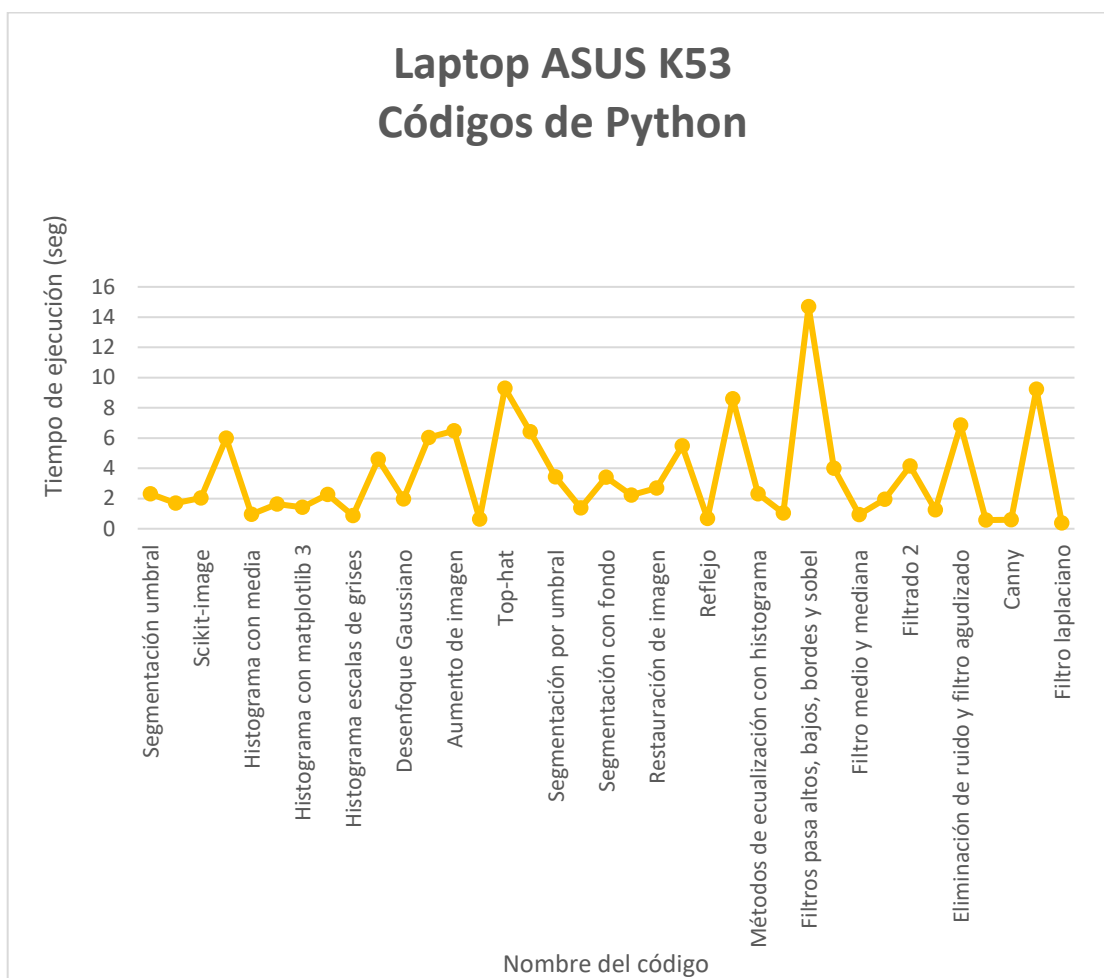
Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución [s]
Afinación de imagen	Sí		13.560734
Cambio de tamaño	Sí		3.467253
Convolución	Sí		4.412180
Detección de objetos con Canny y Prewitt	Sí		15.783289
Filtro Gauss	Sí		2.831217
Filtro Laplaciano	Sí		2.109886
Filtro media con ruido aleatorio tipo sal y pimienta con mascara 3x3 y 9x9 (lineal)	Sí		2.971604
Filtro mediana y media con ruido Gaussiano (no lineal)	Sí		4.156945
Filtro log	Sí		2.218622
Interpolación de comandos directos	Sí		3.043948
Log	Sí		1.980177
Morfología dilatación y erosión	Sí		3.878913
Región (crecimiento de regiones)	Sí		2.394292
Región 3	Sí		1.979178
Relleno de agujeros solo en imágenes en blanco y negro	Sí		1.971569
Representación y descripción: números de componentes conexas	Sí		1.907657
RGBWG	Sí		3.435388
Segmentación basada en umbralización	Sí		3.256177
Segmentación basada en umbralización 2	Sí		2.092662
Transformada discreta de Fourier	Sí		3.779101
Transformada hit or miss	Sí		2.210426
Transformada top-hat	Sí		2.555069
Transformación geométrica	Sí		3.302132
Umbralización: método Otsu	Sí		3.040725
Escala de gris con contraste, recorte y transformación gamma		No	16.019436
Ecuilización del histograma	Sí		2.940878
Segmentación k-means	Sí		10.891628
Filtro pasa altas y pasa bajas	Sí		1.771539



Gráfica 4. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Matlab (2017a) en laptop ASUS K53.

Tabla 4. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en la laptop ASUS K53.

Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución [s]
Segmentación umbral	Sí		2.304661
Segmentación k-means	Sí		1.702533
Scikit-image	Sí		2.026808
Procesamiento	Sí		5.995616
Histograma con media	Sí		0.964276
Histograma 4	Sí		1.632264
Histograma con matplotlib 3	Sí		1.428445
Histograma de una imagen escala de grises 2	Sí		2.263834
Histograma escalas de grises	Sí		0.870672
Filtro edges y umbralización	Sí		4.596630
Desenfoque Gaussiano	Sí		1.964139
Cuantificación de imágenes con k-means	Sí		6.039018
Aumento de imagen	Sí		6.483190
Umbralización	Sí		0.632484
Top-hat	Sí		9.301285
Sobel	Sí		6.419366
Segmentación por umbral	Sí		3.423470
Segmentación por canal		No	1.374140
Segmentación con fondo	Sí		3.407102
Sampling	Sí		2.233520
Restauración de imagen	Sí		2.683926
Región de segmentación	Sí		5.478038
Reflejo	Sí		0.677261
Operadores morfológicos	Sí		8.587232
Métodos de ecualización con histograma	Sí		2.304913
k-means	Sí		1.040794
Filtros pasa altos, bajos, bordes y Sobel	Sí		14.699523
Filtros con detección de bordes	Sí		3.995626
Filtro medio y mediana	Sí		0.937461
Filtro agudizado	Sí		1.960047
Filtrado 2	Sí		4.151027
Extracción de canal RGB con umbralización	Sí		1.259614
Eliminación de ruido y filtro agudizado	Sí		6.854054
Convertir imagen a binario	Sí		0.579990
Canny	Sí		0.604578
Filtro Wiener	Sí		9.240755
Filtro Laplaciano	Sí		0.384822



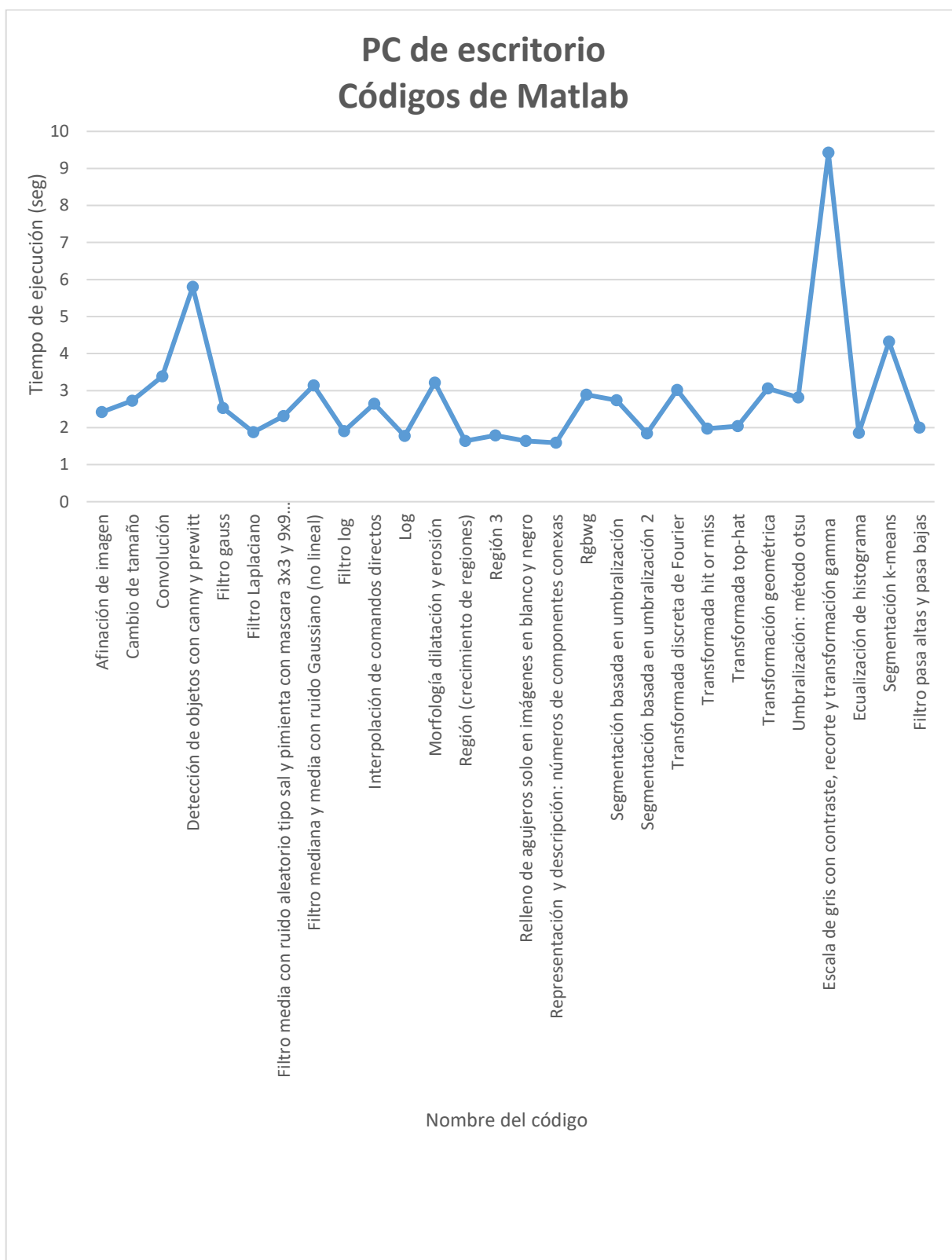
Gráfica 5. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Google colaboratory (Python 3) en laptop ASUS K53.

Los tiempos de ejecución de las tablas 5 y 6 se realizaron en una PC de escritorio con procesador AMD Athlon II X4 a 2.60 GHz con una memoria RAM de 10 GB con un sistema operativo Windows 10 Pro basado en x64 con una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GT 740, el tiempo máximo para los códigos de Matlab es de 9.424078 [s] del código de escala de gris con contraste, recorte y transformación gamma y el tiempo mínimo es de 1.591411 [s] del código de representación y descripción: números de componentes conexas.

En los códigos de Python el tiempo máximo es de 23.20756 [s] del código de filtros pasa altos, bajos, bordes y Sobel y el tiempo mínimo es de 0.650785 [s] del código de Canny.

Tabla 5. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el PC de escritorio.

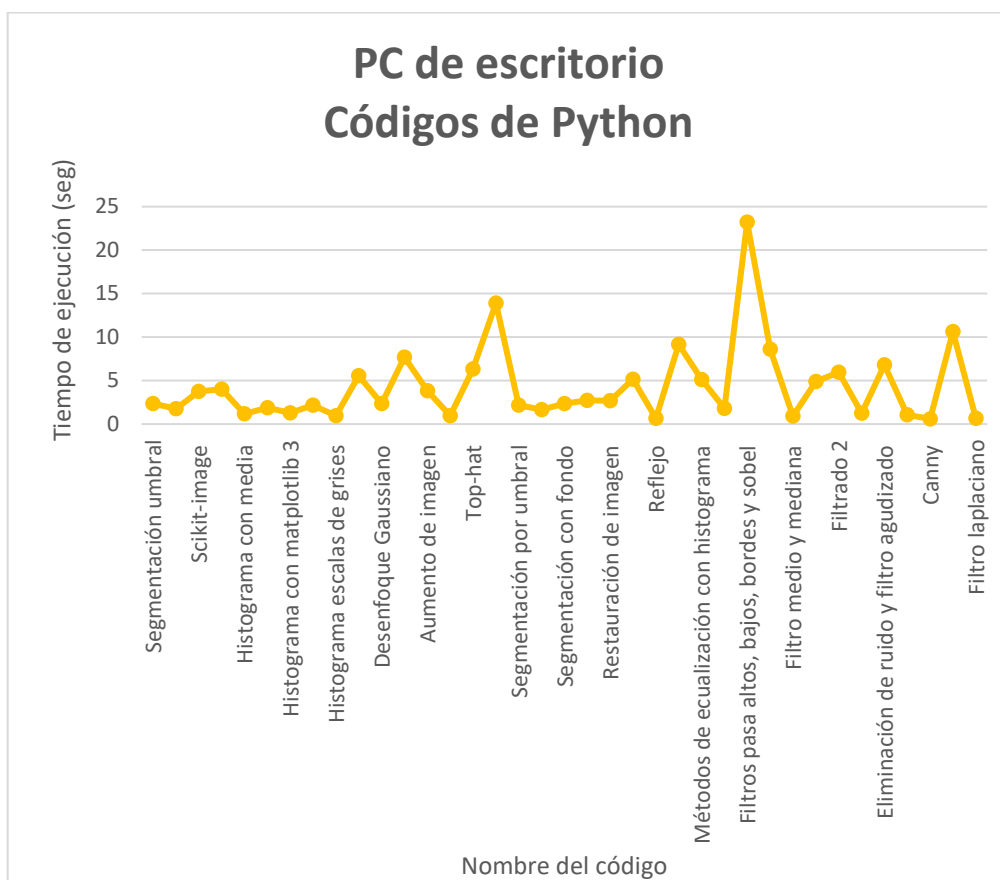
Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución [s]
Afinación de imagen	Sí		2.422995
Cambio de tamaño	Sí		2.728419
Convolución	Sí		3.383090
Detección de objetos con Canny y Prewitt	Sí		5.803124
Filtro Gauss	Sí		2.529306
Filtro Laplaciano	Sí		1.879028
Filtro media con ruido aleatorio tipo sal y pimienta con mascara 3x3 y 9x9 (lineal)	Sí		2.315171
Filtro mediana y media con ruido Gaussiano (no lineal)	Sí		3.138967
Filtro log	Sí		1.903758
Interpolación de comandos directos	Sí		2.646298
Log	Sí		1.776970
Morfología dilatación y erosión	Sí		3.214367
Región (crecimiento de regiones)	Sí		1.638689
Región 3	Sí		1.790159
Relleno de agujeros solo en imágenes en blanco y negro	Sí		1.642970
Representación y descripción: números de componentes conexas	Sí		1.591411
RGBWG	Sí		2.888086
Segmentación basada en umbralización	Sí		2.743102
Segmentación basada en umbralización 2	Sí		1.843750
Transformada discreta de Fourier	Sí		3.017116
Transformada hit or miss	Sí		1.971128
Transformada top-hat	Sí		2.039379
Transformación geométrica	Sí		3.058447
Umbralización: método Otsu	Sí		2.817372
Escala de gris con contraste, recorte y transformación gamma		No	9.424078
Ecuilización de histograma	Sí		1.858471
Segmentación k-means	Sí		4.321150
Filtro pasa altas y pasa bajas	Sí		1.999250



Gráfica 6. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Matlab (2017a) en PC de escritorio (construida).

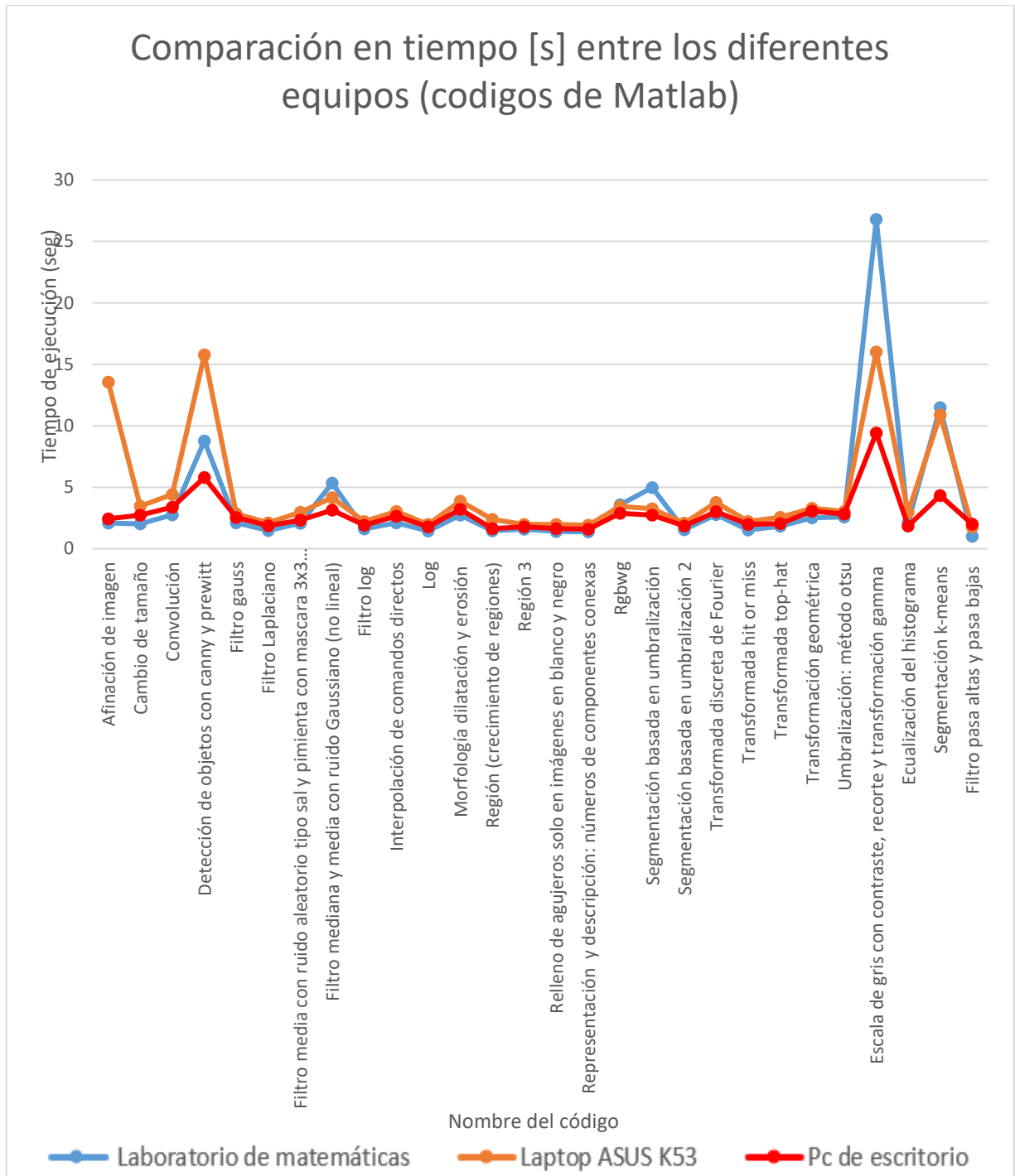
Tabla 6. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución realizados en el PC de escritorio.

Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución [s]
Segmentación umbral	Sí		2.357195
Segmentación k-means	Sí		1.756579
Scikit-image	Sí		3.752741
Procesamiento	Sí		4.0160406
Histograma con media	Sí		1.182589
Histograma 4	Sí		1.888326
Histograma con matplotlib 3	Sí		1.292562
Histograma de una imagen escala de grises 2	Sí		2.156365
Histograma escalas de grises	Sí		0.957994
Filtro edges y umbralización	Sí		5.562154
Desenfoque Gaussiano	Sí		2.364461
Cuantificación de imágenes con k-means	Sí		7.673853
Aumento de imagen	Sí		3.819295
Umbralización	Sí		0.945803
Top-hat	Sí		6.324188
Sobel	Sí		13.90275
Segmentación por umbral	Sí		2.18697
Segmentación por canal		No	1.641838
Segmentación con fondo	Sí		2.341805
Sampling	Sí		2.726046
Restauración de imagen	Sí		2.69445
Región de segmentación	Sí		5.158309
Reflejo	Sí		0.650088
Operadores morfológicos	Sí		9.155566
Métodos de ecuilización con histograma	Sí		5.120061
k-means	Sí		1.821343
Filtros pasa altos, bajos, bordes y sobel	Sí		23.20756
Filtros con detección de bordes	Sí		8.628571
Filtro medio y mediana	Sí		0.90931
Filtro agudizado	Sí		4.877578
Filtrado 2D	Sí		5.965045
Extracción de canal RGB con umbralización	Sí		1.259614
Eliminación de ruido y filtro agudizado	Sí		6.814482
Convertir imagen a binario	Sí		1.064212
Canny	Sí		0.59304
Filtro Wiener	Sí		10.63536
Filtro Laplaciano	Sí		0.650785

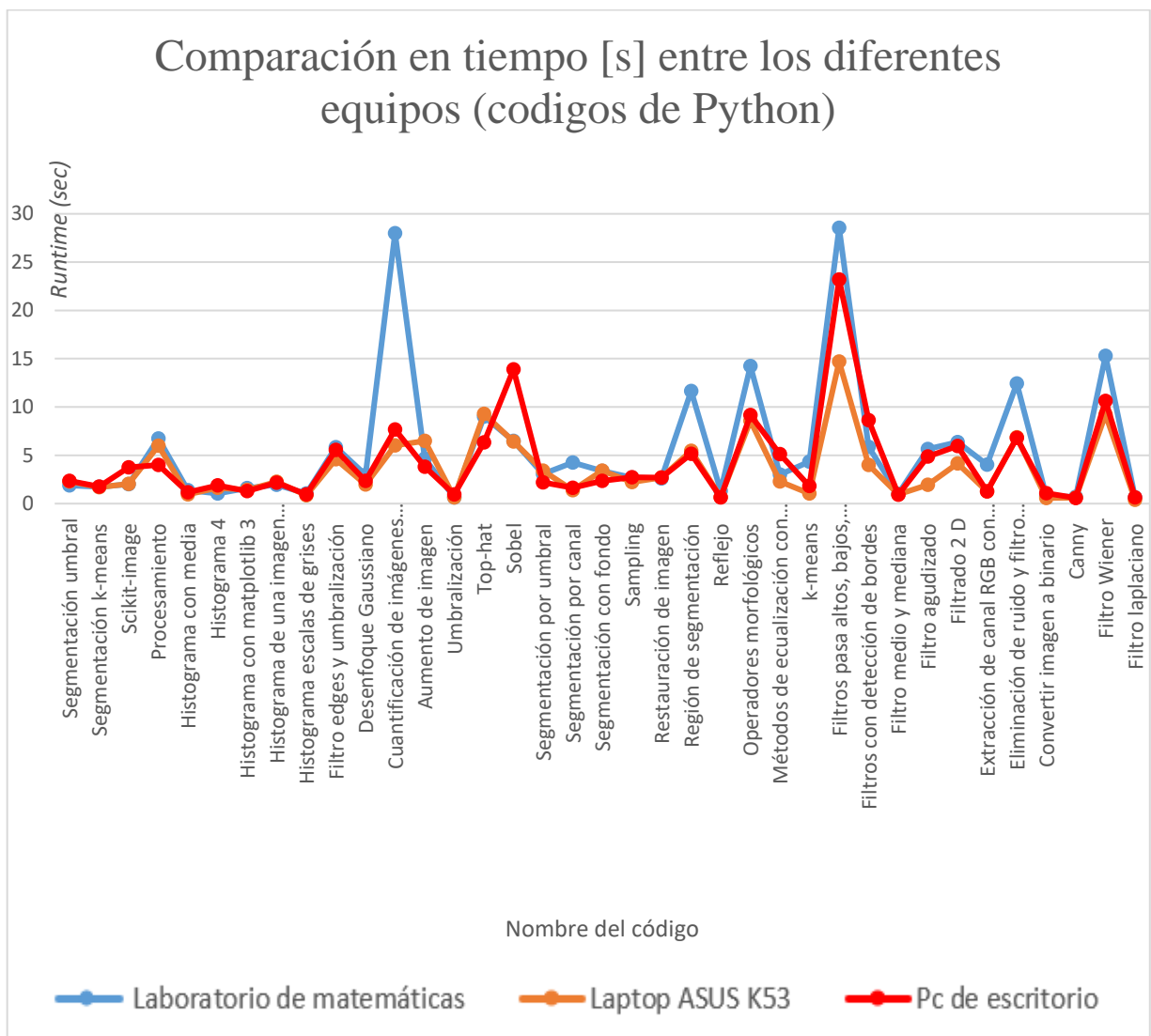


Gráfica 7. Tiempo de ejecución [s] de los códigos de Google colaboratory (Python 3) en PC de escritorio (construida).

## 7.1 Comparativas entre maquinas.



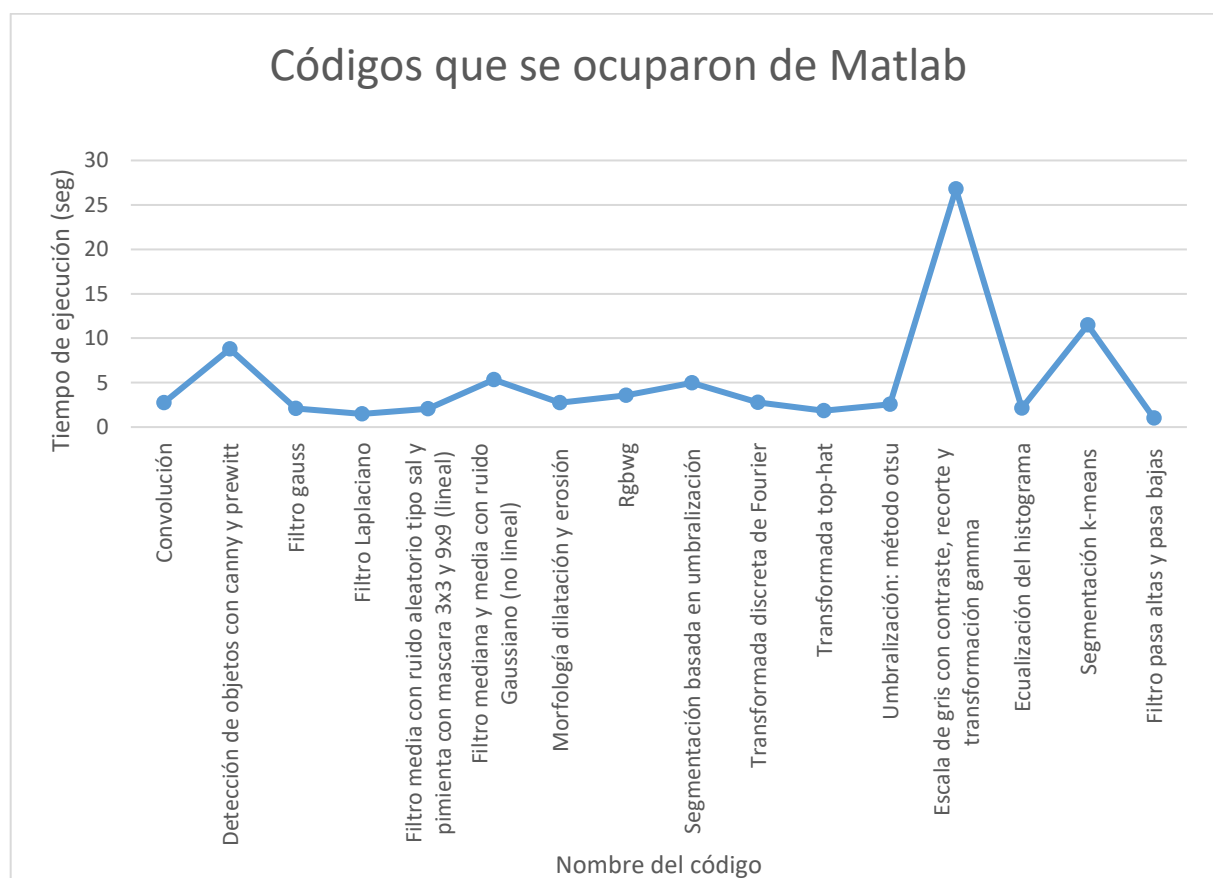
Gráfica 8. Comparación en tiempo de ejecución [s] de los códigos de Matlab (2017a) de los diferentes equipos.



Gráfica 9. Comparación en tiempo de ejecución [s] de los códigos de Google colaboratory (Python 3) de los diferentes equipos.

Tabla 7. Códigos de Matlab con o sin histogramas y su tiempo de ejecución ocupados en la tesis.

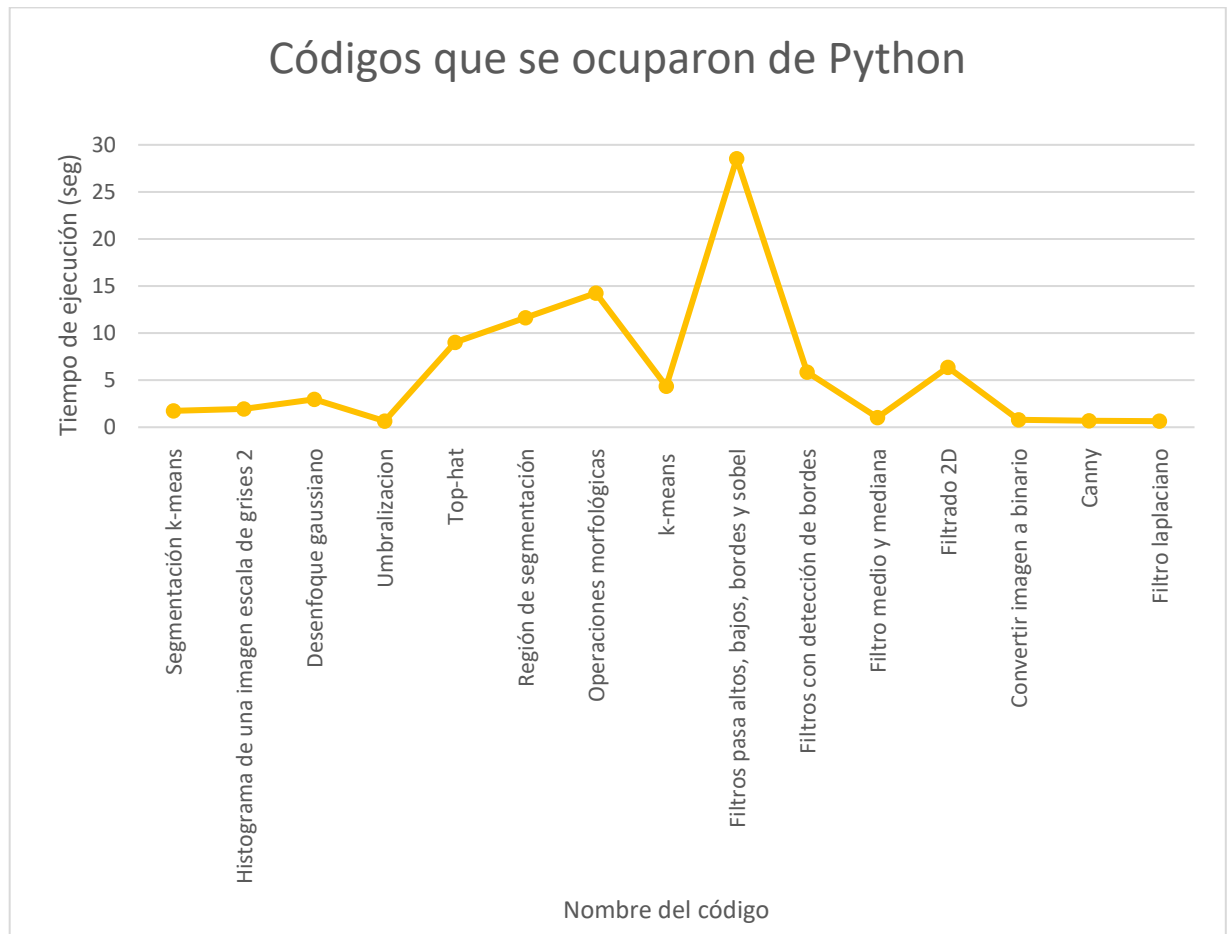
Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución [s]
Convolución	Sí		2.749738
Detección de objetos con Canny y Prewitt	Sí		8.778288
Filtro Gauss	Sí		2.102033
Filtro Laplaciano	Sí		1.490043
Filtro media con ruido aleatorio tipo sal y pimienta con mascara 3x3 y 9x9 (lineal)	Sí		2.065534
Filtro mediana y media con ruido gaussiano (no lineal)	Sí		5.345337
Morfología dilatación y erosión	Sí		2.743560
RGBWG	Sí		3.566993
Segmentación basada en umbralización	Sí		4.975153
Transformada discreta de Fourier	Sí		2.773828
Transformada top-hat	Sí		1.828928
Umbralización: método Otsu	Sí		2.579718
Escala de gris con contraste, recorte y transformación gamma		No	26.795212
Ecuación del histograma	Sí		2.138721
Segmentación k-means	Sí		11.476838
Filtro pasa altas y pasa bajas	Sí		1.010258



Gráfica 10. Tiempo de ejecución [s] de los códigos escogidos de Matlab (2017a).

Tabla 8. Códigos de Python con o sin histogramas y su tiempo de ejecución ocupados en la tesis.

Nombre del código	Histograma	Sin histograma	Tiempo de ejecución [s]
Segmentación k-means	Sí		1.731335
Histograma de una imagen escala de grises 2	Sí		1.954186
Desenfoque gaussiano	Sí		2.964070
Umbralización	Sí		0.655882
Top-hat	Sí		9.007652
Región de segmentación	Sí		11.642963
Operaciones morfológicas	Sí		14.244902
k-means	Sí		4.344882
Filtros pasa altos, bajos, bordes y Sobel	Sí		28.534855
Filtros con detección de bordes	Sí		5.869533
Filtro medio y mediana	Sí		1.029369
Filtrado 2D	Sí		6.360349
Convertir imagen a binario	Sí		0.774487
Canny	Sí		0.701197
Filtro Laplaciano	Sí		0.643203



Gráfica 11. Tiempo de ejecución [s] de los códigos escogidos de Google colaboratory (Python 3).

Tabla 9. Tabla comparativa de Matlab y Python.

	<b>Matlab</b>	<b>Python</b>
Tiempos de ejecución	De todos los códigos que se realizó el tiempo más alto es de 26.795212	De todos los códigos que se implementaron, el tiempo más alto es de 28.534855
Histogramas	Solo un código no se pudo realizar el histograma	Solo un código no se pudo realizar el histograma
Formatos de códigos (forma de escribir)	Escritura más difícil de comprender	Escritura más amigable de comprender
Calidad de procesamiento (como se ve la imagen)	La imagen tiene una baja calidad	La imagen tiene mejor calidad
Máquina (laboratorio de matemáticas)	Dell optiplex 755 con un procesador Core™ Duo E6550 a 2.33 GHz con una memoria RAM 2.50 GB con un sistema operativo Windows 7 ultimate service pack 1 basado en x64, con un GPU Intel Q25 Express Chipset Family	CPU Intel Xeon a 2,20 GHz, 13 GB de RAM, un acelerador Tesla K80 y 12 GB de VRAM GDDR5” y el TPU con una “CPU Intel Xeon a 2,30 GHz, 13 GB de RAM

Tabla 10. Tabla comparativa de Matlab y Python.

	<b>Matlab</b>	<b>Python</b>
Tiempos de ejecución	De todos los códigos que se implementaron, el tiempo más alto es de 16.019436	De todos los códigos que se implementaron el tiempo más alto es de 14.699523
Histogramas	Solo un código no se pudo realizar el histograma	Solo un código no se pudo realizar el histograma
Formatos de códigos (forma de escribir)	Escritura más difícil de comprender	Escritura más amigable de comprender
Calidad de procesamiento (como se ve la imagen)	La imagen tiene una baja calidad	La imagen tiene mejor calidad
Máquina (laptop ASUS K53)	Laptop ASUS K53 con procesador AMD A4-3305M a 1.90 GHz con una memoria RAM 8 GB con un sistema operativo Windows 10 Pro basado en X64 con HD Gráfica Radeon	CPU Intel Xeon a 2,20 GHz, 13 GB de RAM, un acelerador Tesla K80 y 12 GB de VRAM GDDR5” y el TPU con una “CPU Intel Xeon a 2,30 GHz, 13 GB de RAM

Tabla 11. Tabla comparativa de Matlab y Python.

	<b>Matlab</b>	<b>Python</b>
Tiempos de ejecución	De todos los códigos que se implementaron, el tiempo más alto es de 9.424078	De todos los códigos que se implementaron, el tiempo más alto es de 23.207562
Histogramas	Solo un código no se pudo realizar el histograma	Solo un código no se pudo realizar el histograma
Formatos de códigos (forma de escribir)	Escritura más difícil de comprender	Escritura más amigable de comprender
Calidad de procesamiento (como se ve la imagen)	La imagen tiene una baja calidad	La imagen tiene mejor calidad
Máquina (PC de escritorio)	PC escritorio con procesador AMD Athlon II X4 a 2.60 GHz con una memoria RAM de 10 GB con un sistema operativo Windows 10 Pro basado en X64 con una tarjeta gráfica NVIDIA GeForce GT 740	CPU Intel Xeon a 2,20 GHz, 13 GB de RAM, un acelerador Tesla K80 y 12 GB de VRAM GDDR5” y el TPU con una “CPU Intel Xeon a 2,30 GHz, 13 GB de RAM

## Capítulo 8 Conclusión y trabajos a futuro.

### 8.1 Conclusión

Al implementar las técnicas ya mencionadas en Matlab y Google colaboratory (Python 3), se tienen diferencias importantes, la primera de ellas son los recursos que puede proporcionar al momento de ejecutar el código, la segunda es su forma de escribir el código, en este caso Google colaboratory (Python 3) es mucho más fácil de entender e implementar el código y la tercera diferencia es el costo de la licencia. Dependiendo de la técnica que se quiera implementar es más eficaz.

El histograma permitió comprender la composición de la imagen en forma estadística, es decir en sus diferentes tonos y frecuencias, en el histograma de la mamografía original (Figura 10) su comportamiento tiene más niveles que van hacia el tono más negro. Esto nos indica que la imagen está muy oscura, si ecualizamos la imagen se aprecia la información más distribuida hacia el tono más blanco; por lo tanto, la imagen se ve muy clara y podría no verse bien.

Al aplicar las diferentes técnicas de segmentación en el histograma, se aprecia que en algunos histogramas hay cambios; mientras que en otros no. Aunque los histogramas tienen similitudes como es el caso de binarización, segmentación por bordes, segmentación basada en umbralización y el método Otsu. Las técnicas que revelaron mejor calidad o claridad son: escala a grises, filtro pasa bajas, filtro gaussiano, top hat, filtro de diferencia, filtro ecualizado, contraste, Fourier y umbralización

Los tiempos de ejecución en el caso de Matlab son más bajos, debido a que la PC de escritorio tiene mejores componentes de hardware a comparación de los del laboratorio de matemáticas y la laptop ASUS K53 y en el caso de Python 3 no importa tanto los requisitos de hardware ya

que estos son proporcionados por vía internet, por lo tanto, en términos de rendimiento es más eficaz ocupar Python 3.

## 8.2 Trabajos a futuro

Las técnicas mostradas en esta tesis se podrían implementar con técnicas basadas en redes neuronales u otras técnicas basadas en inteligencia artificial, con la finalidad de que este sea más practico al momento de segmentar las imágenes digitales.

## Anexos.

Las siguientes figuras son simulaciones realizadas en Matlab y Python para comprender y conocer los códigos de las técnicas de segmentación de imágenes, no representan un caso particular de la investigación.

Figuras realizadas en Matlab.

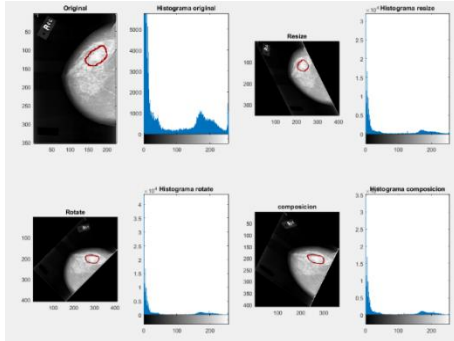


Figura 51 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de afinación de imagen.

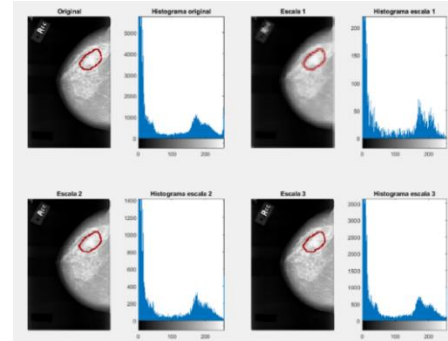


Figura 50 Imagen de una mamografía con histograma cambio de tamaño.

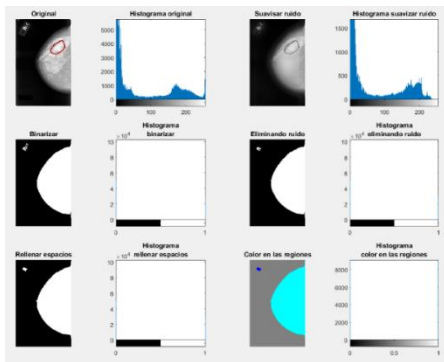


Figura 53 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de Canny/Prewitt.

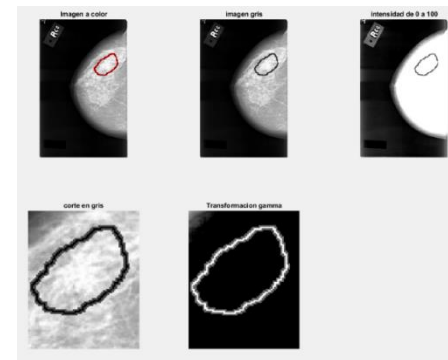


Figura 52 Imagen de una mamografía con histograma con las técnicas de contraste, recorte y transformación gama.

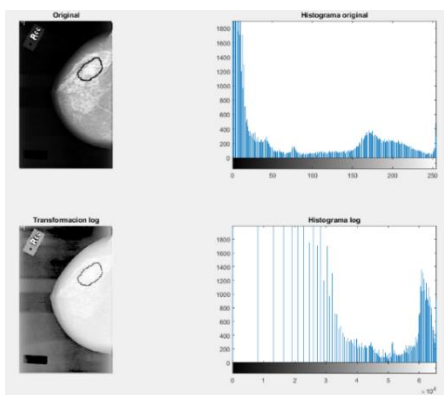


Figura 55 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de transformación log.

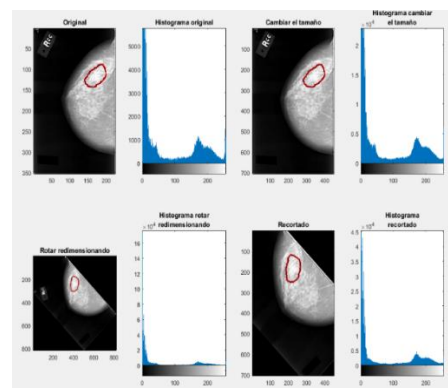


Figura 54 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de interpolación de comandos directos.

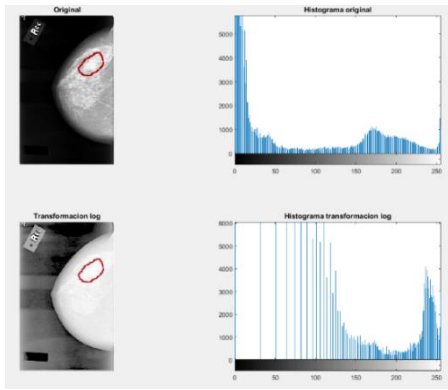


Figura 57 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de LoG

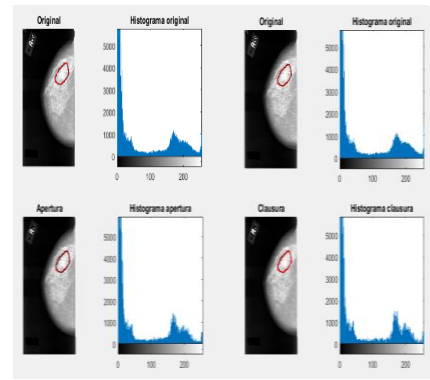


Figura 56 Imagen de una mamografía con histograma con las técnicas de apertura y

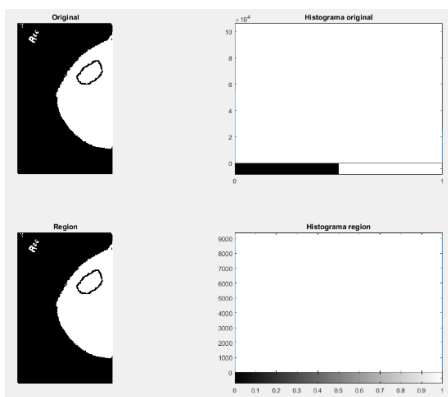


Figura 59 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de crecimiento de regiones.

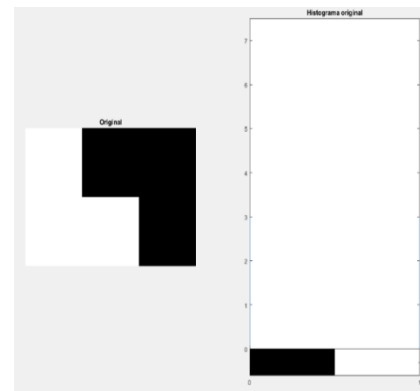


Figura 58 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de región.

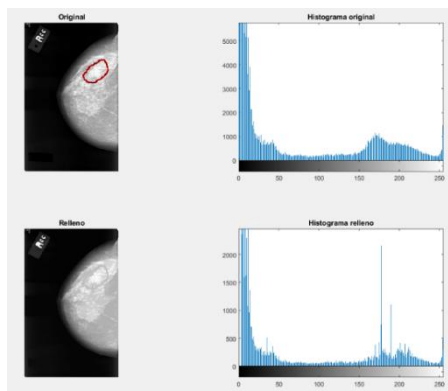


Figura 61 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de relleno.

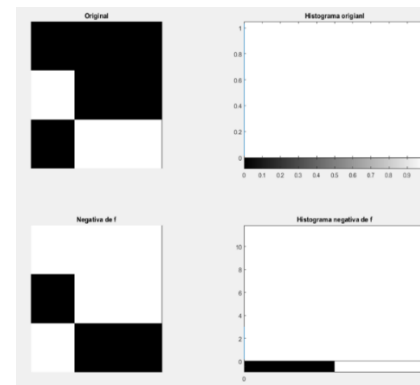


Figura 60 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de componentes conexas.

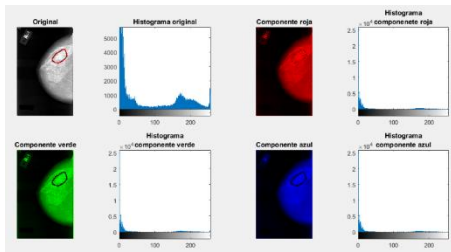


Figura 62 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de canal RGBWG.

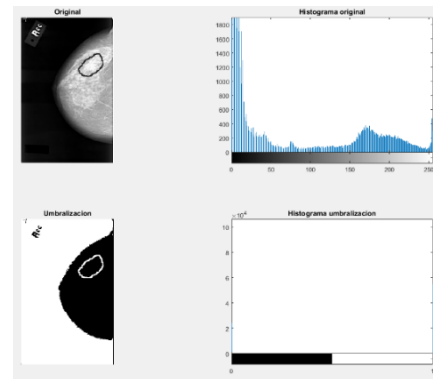


Figura 63 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de segmentación 2.

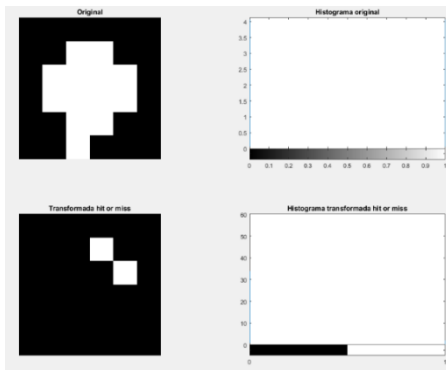


Figura 65 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de la transformada hit or miss.

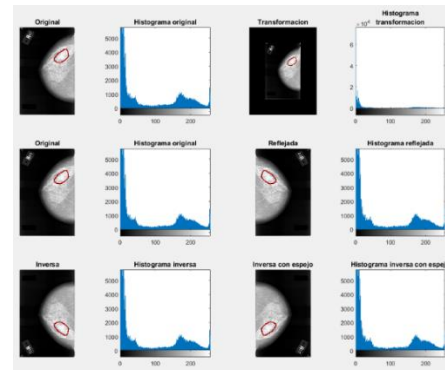


Figura 64 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de la transformación geométrica.

Figuras realizadas en Python.

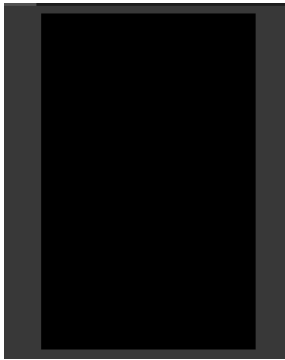


Figura 67 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de detección de color sin histograma.

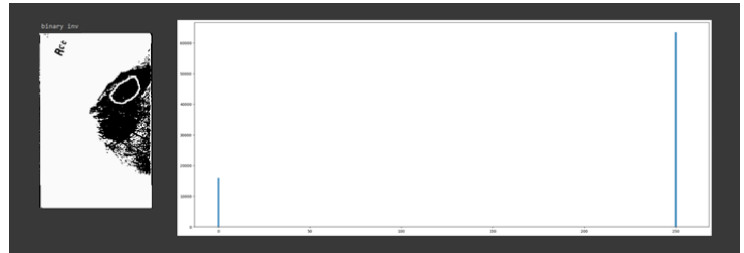


Figura 66 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica del filtro edges.

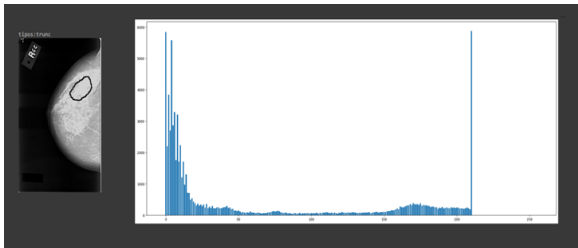


Figura 69 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de thresh trunc.



Figura 68 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de thresh to zero.

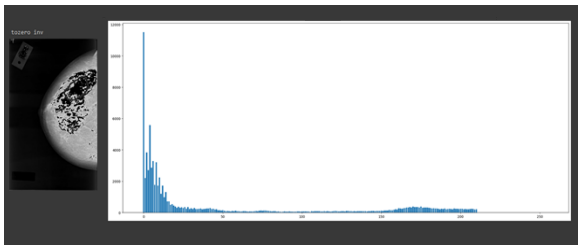


Figura 71 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de zero invertida.

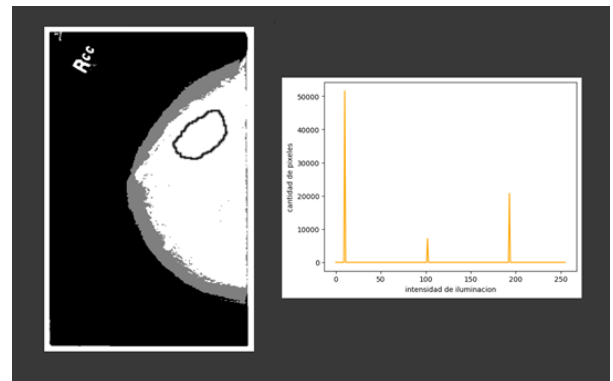


Figura 70 Imagen de una mamografía con histograma de la reconstrucción de la imagen digital de la mama.

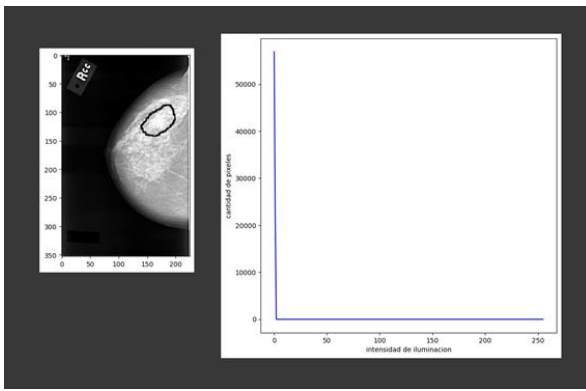


Figura 73 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de scikit-image (de color a escala de grises).

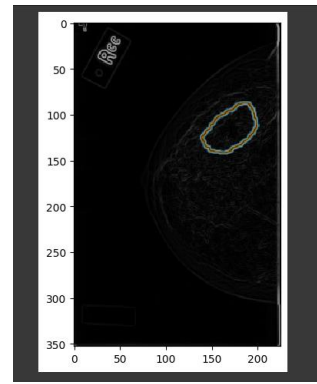


Figura 72 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica del filtro de sobel.

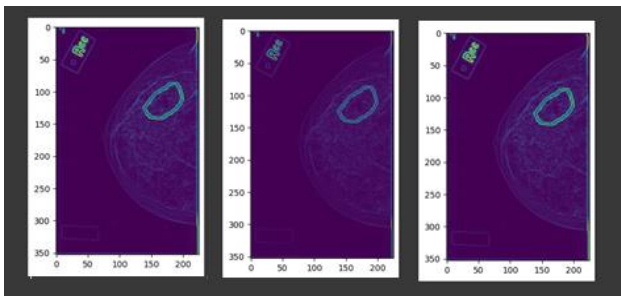


Figura 75 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de detección de bordes.

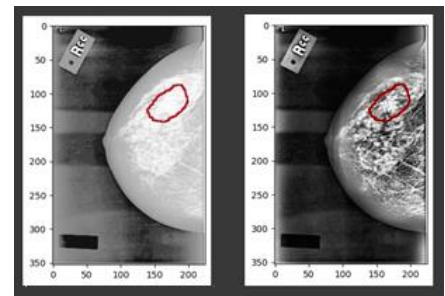


Figura 74 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de mejoramiento del contraste.

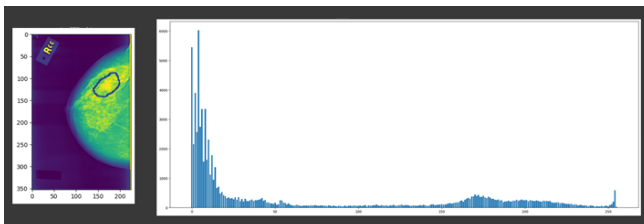


Figura 77 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de eliminación de ruido.

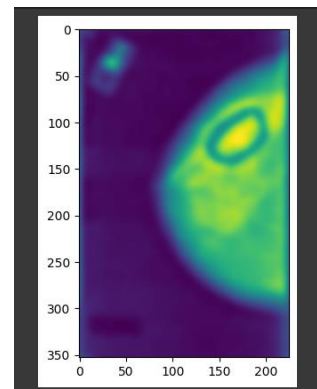


Figura 76 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de restauración con filtro Wiener.

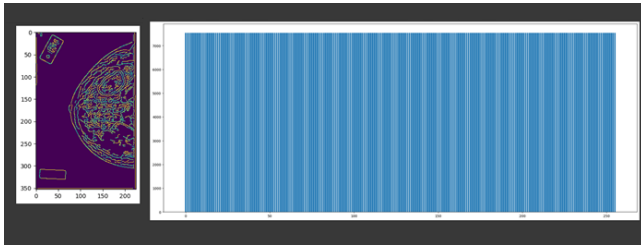


Figura 79 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de suavizado y resalte de contornos.

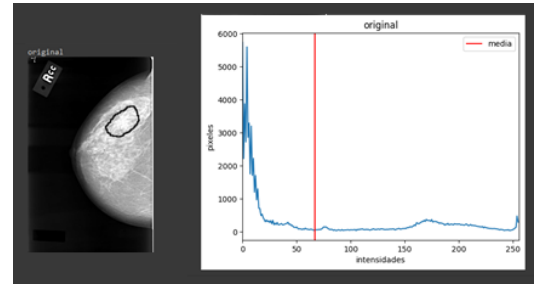


Figura 78 Imagen de una mamografía en gris con histograma media.

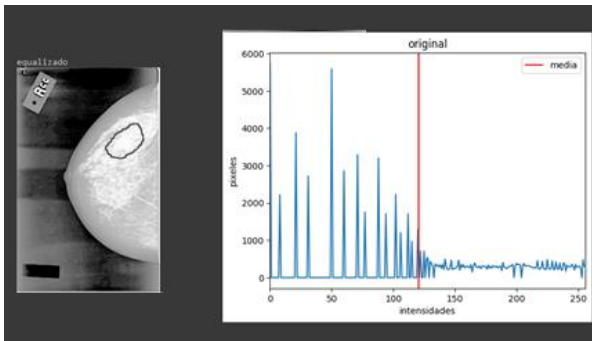


Figura 81 Imagen de una mamografía con histograma equalizado.

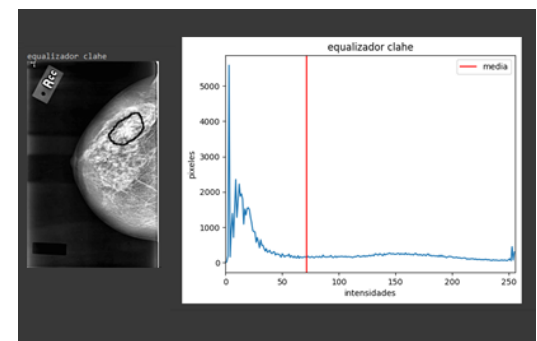


Figura 80 Imagen de una mamografía con histograma clahe.

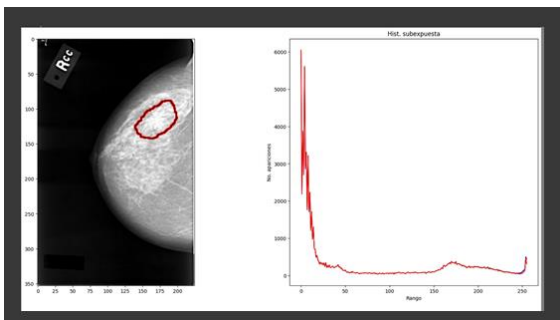


Figura 83 Imagen de una mamografía con histograma.

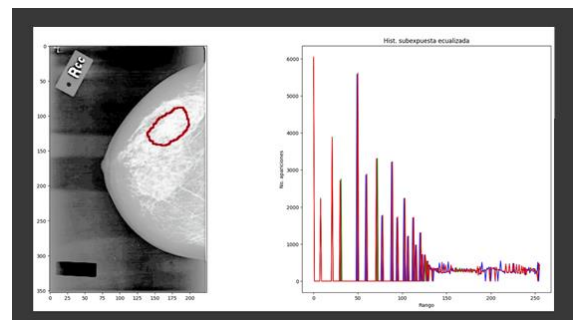


Figura 82 Imagen de una mamografía con histograma equalizada subexpuesta.

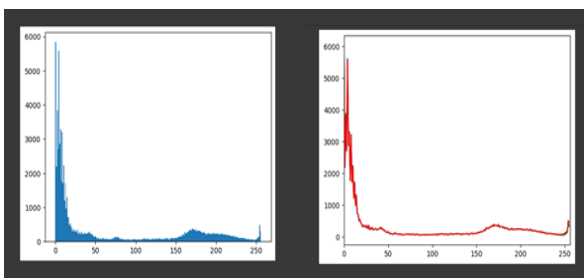


Figura 85 Histogramas con matplotlib.

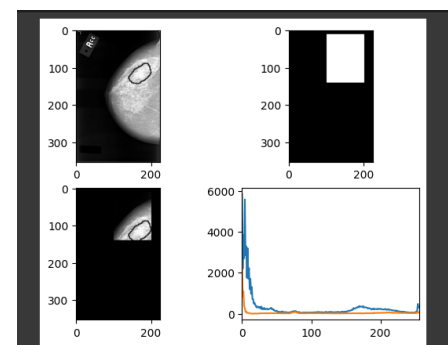


Figura 84 Imagen de una mamografía con histograma con open cv.

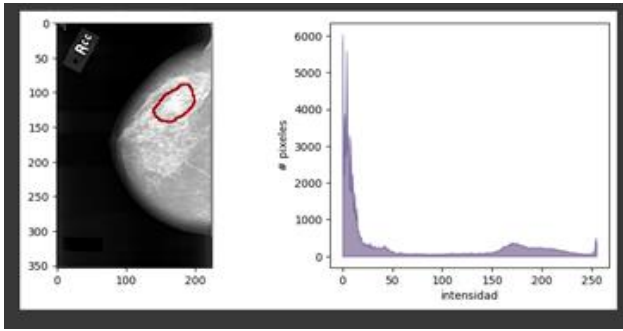


Figura 87 Imagen a color de una mamografía con histograma.

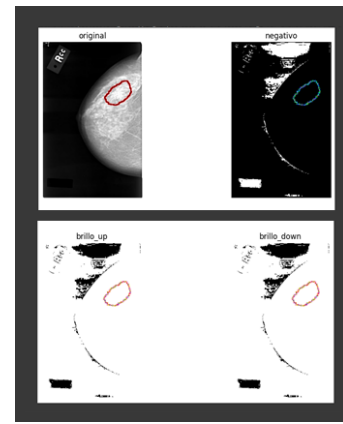


Figura 86 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de cambio de intensidad.

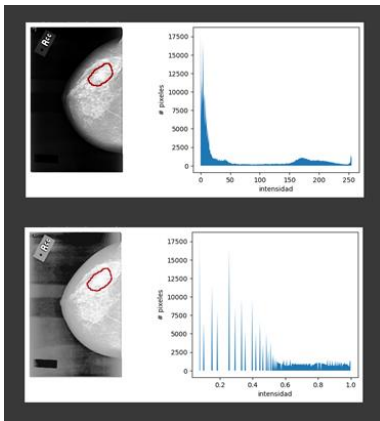


Figura 89 Imagen de una mamografía con histograma ecualizado.

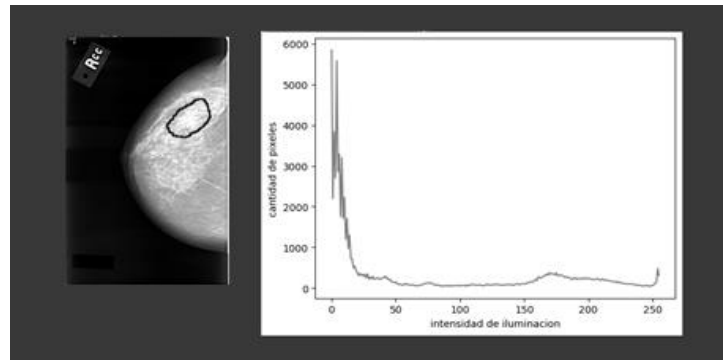


Figura 88 Imagen de una mamografía con histograma a escala de

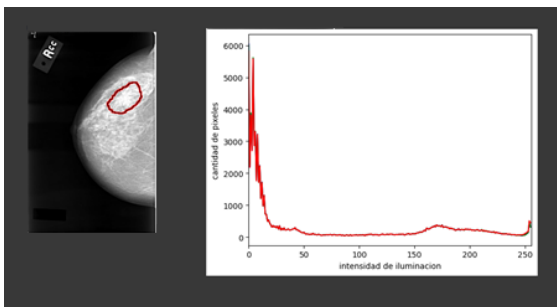


Figura 90 Imagen de una mamografía con histograma a color.

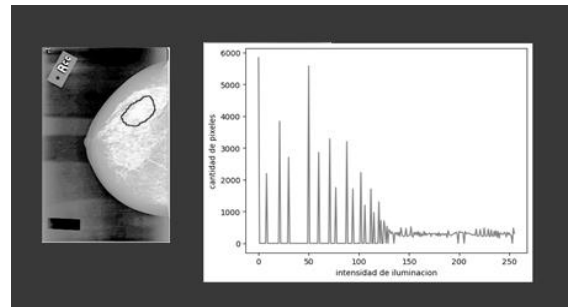


Figura 91 Imagen de una mamografía con histograma ecualizado.

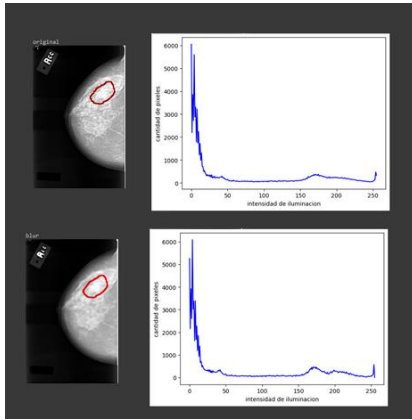


Figura 93 Imagen de una mamografía con histograma con desenfoque medio.

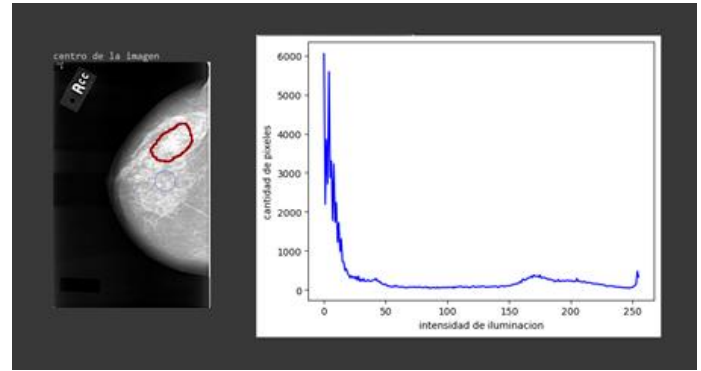


Figura 92 Imagen de una mamografía con histograma con detección de centroides.

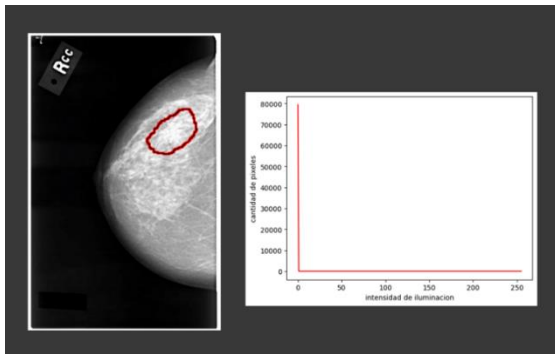


Figura 95 Imagen de una mamografía con histograma reconstrucción por color de centroides.

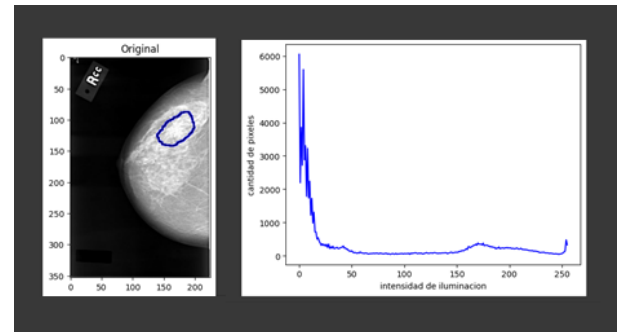


Figura 94 Imagen de una mamografía con histograma de aumento.

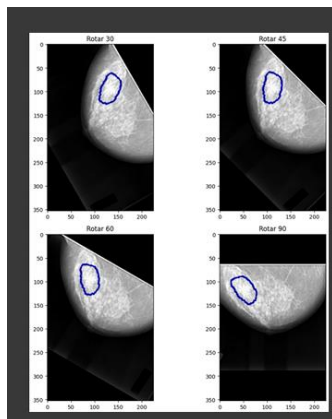


Figura 96 Imagen de una mamografía con rotación.

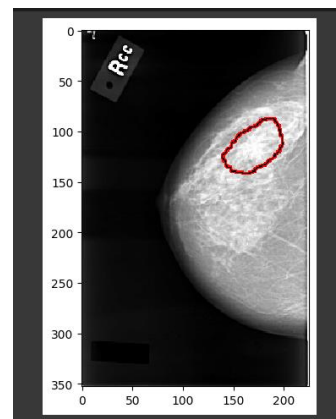


Figura 97 Imagen de una mamografía con pre procesamiento.

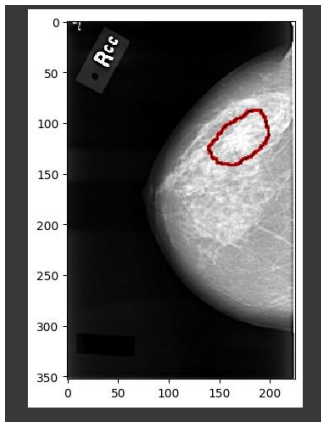


Figura 98 Imagen de una mamografía con extracción de características.

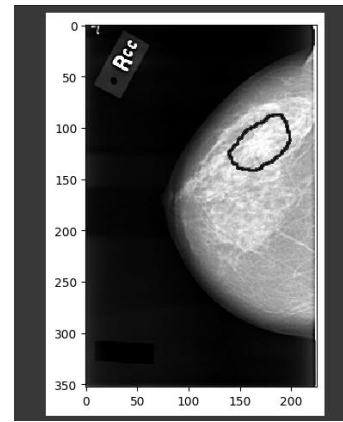


Figura 99 Imagen de una mamografía a escala de grises.

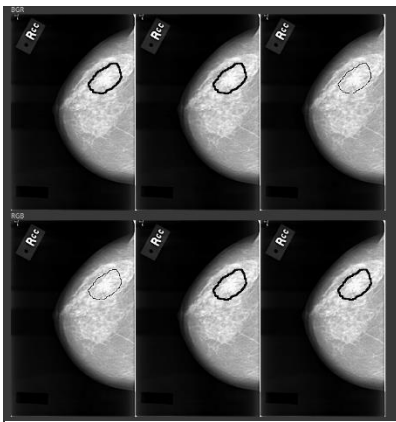


Figura 100 Imagen de una mamografía con extracción de canal BGR-RGB.

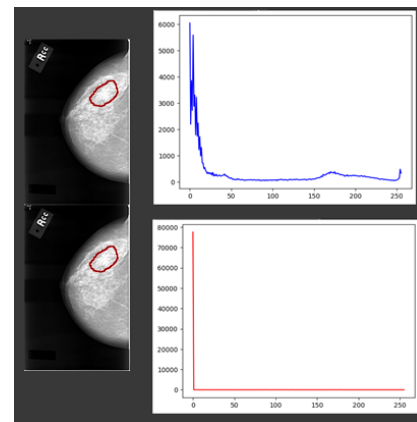


Figura 101 Imagen de una mamografía con histograma a color.

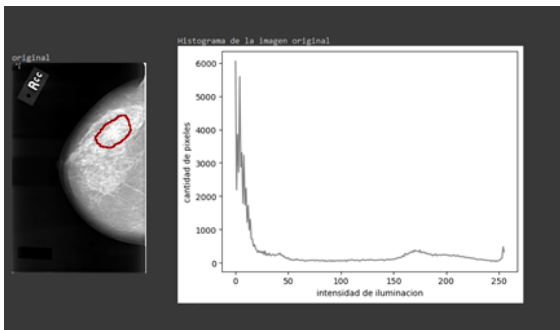


Figura 103 Imagen de una mamografía con histograma a color.

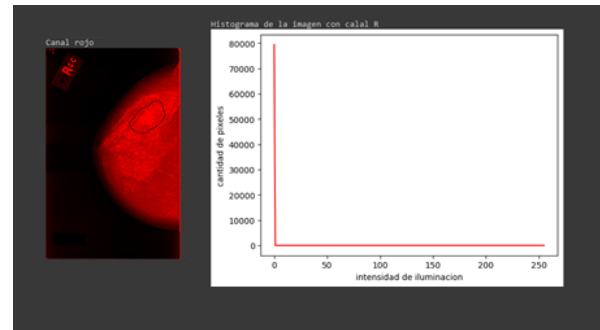


Figura 102 Imagen de una mamografía con histograma con extracción de canal rojo.

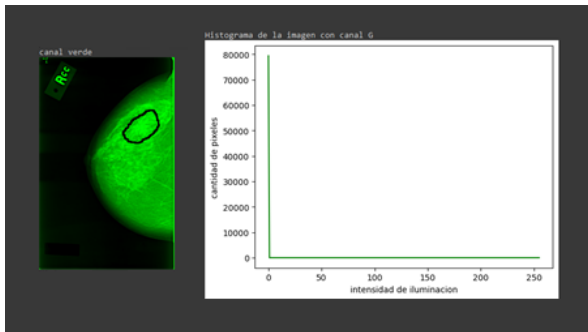


Figura 105 Imagen de una mamografía con histograma con extracción de canal verde.

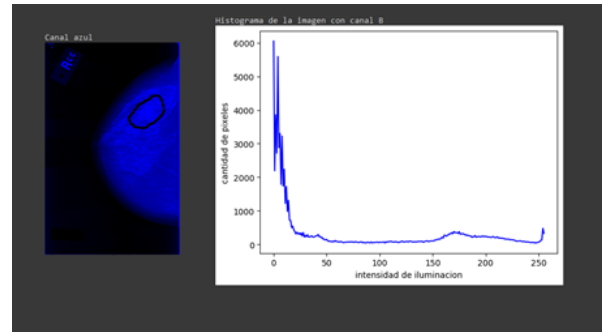


Figura 104 Imagen de una mamografía con histograma con extracción de canal azul.

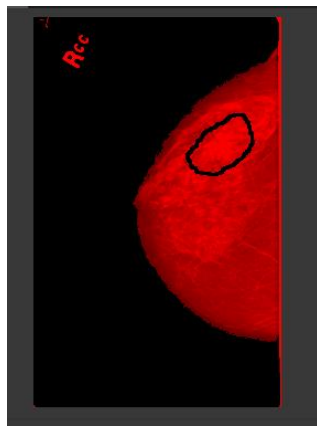


Figura 107 Imagen de una mamografía con umbralización y extracción de canal rojo.

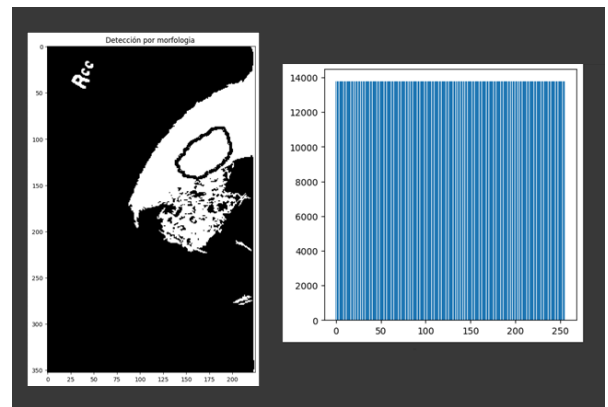


Figura 106 Imagen de una mamografía con histograma con detección de morfología.

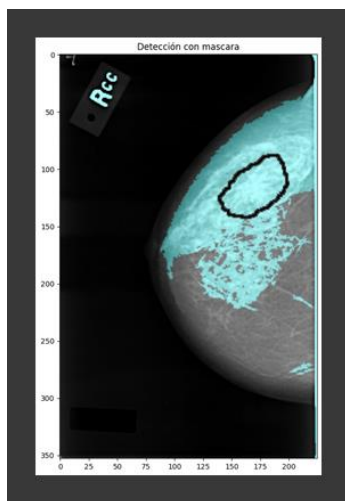


Figura 109 Imagen de una mamografía con histograma con detección con mascara.

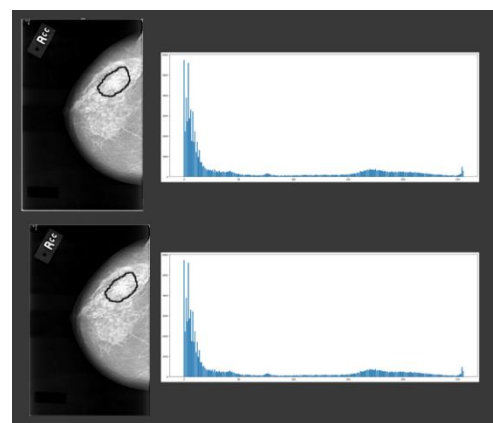


Figura 108 Imagen de una mamografía con histograma con Sobel.

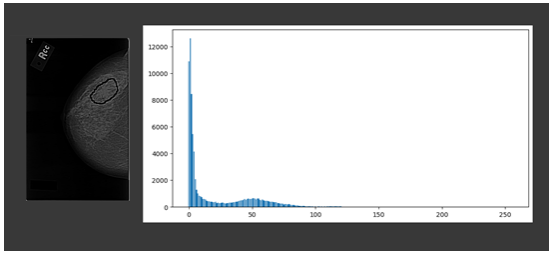


Figura 111 Imagen de una mamografía con histograma con agudización.

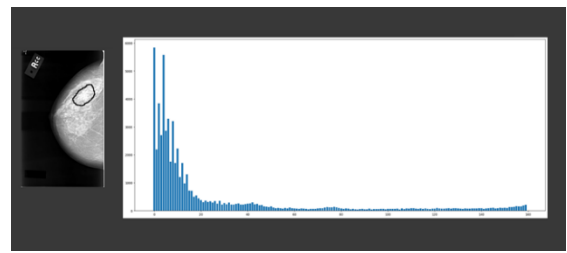


Figura 110 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altos.

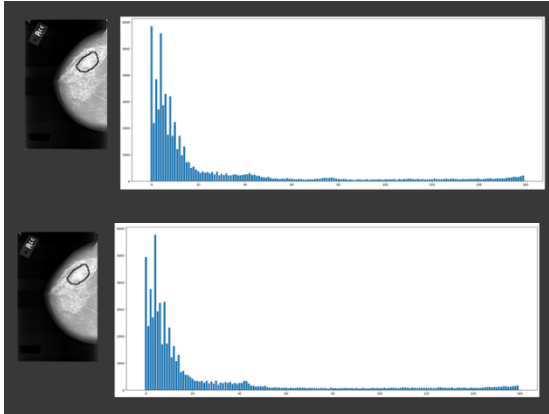


Figura 113 Imagen de una mamografía con histograma con mascara promedio (filtro pasa bajos).

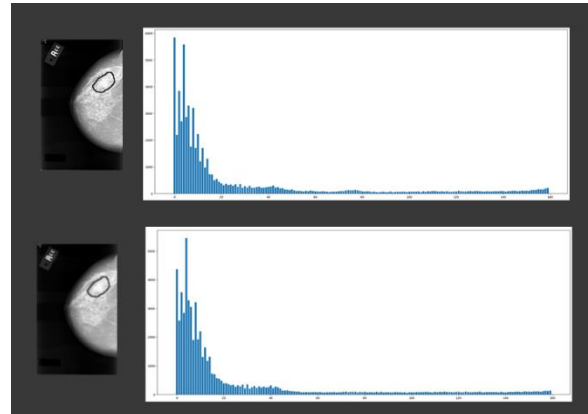


Figura 112 Imagen de una mamografía con histograma con filtro Gaussiano.

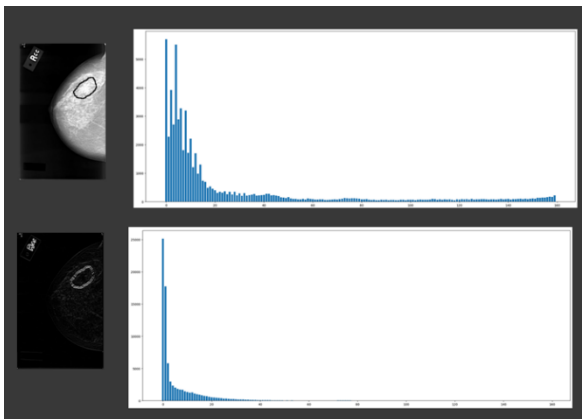


Figura 115 Imagen de una mamografía con histograma con bordes horizontales.

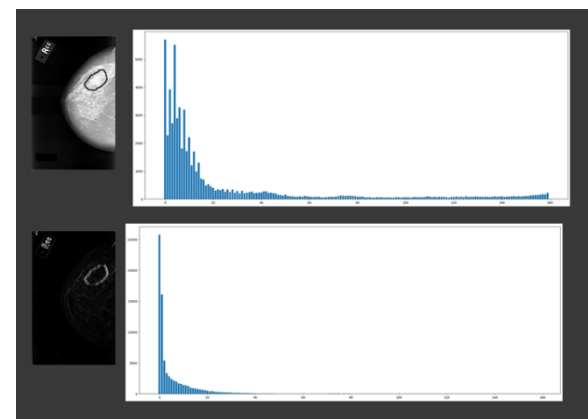


Figura 114 Imagen de una mamografía con histograma con bordes verticales.

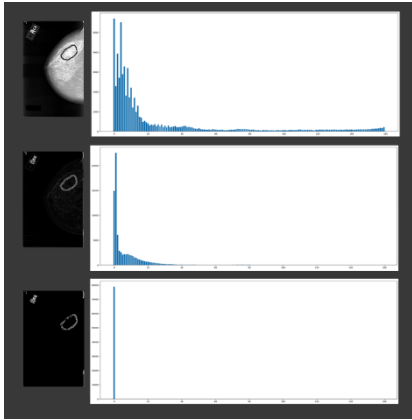


Figura 117 Imagen de una mamografía con histograma con ambos bordes.

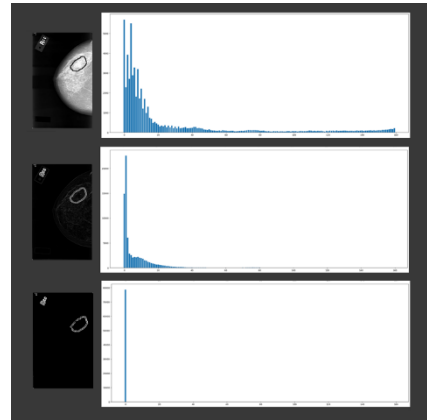


Figura 116 Imagen de una mamografía con histograma con Sobel (detector de bordes).

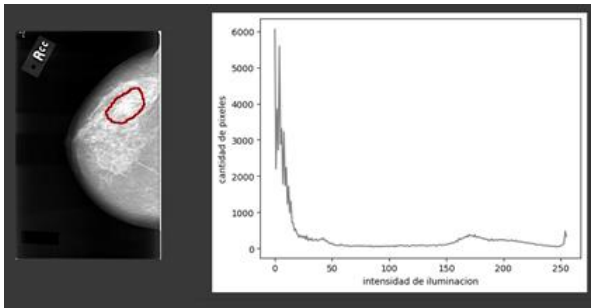


Figura 119 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altos.

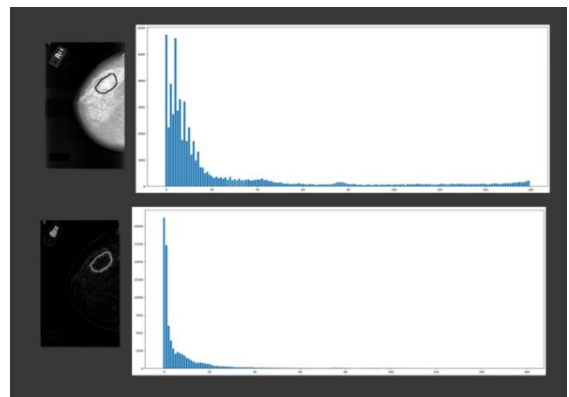


Figura 118 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altos.

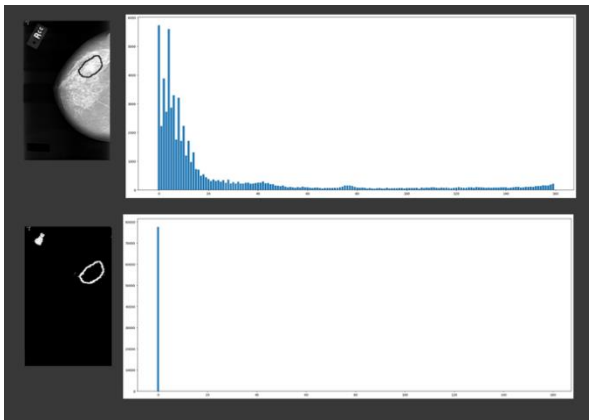


Figura 120 Imagen de una mamografía con histograma con detección de bordes.

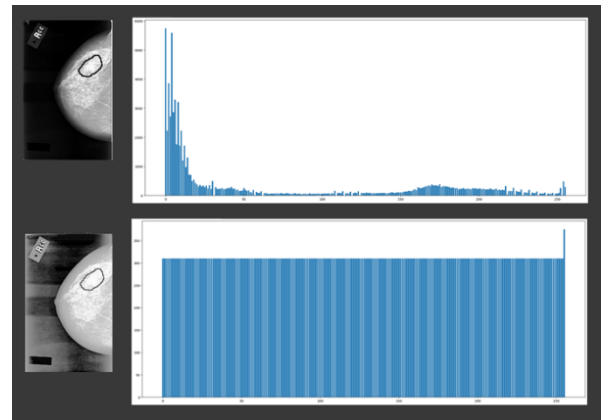


Figura 121 Imagen de una mamografía con histograma con filtro detección de bordes.

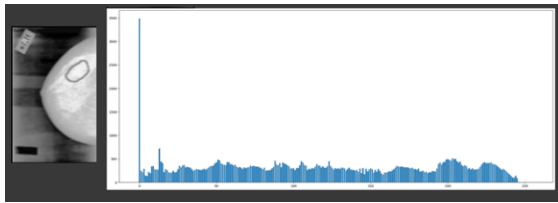


Figura 123 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa bajos.

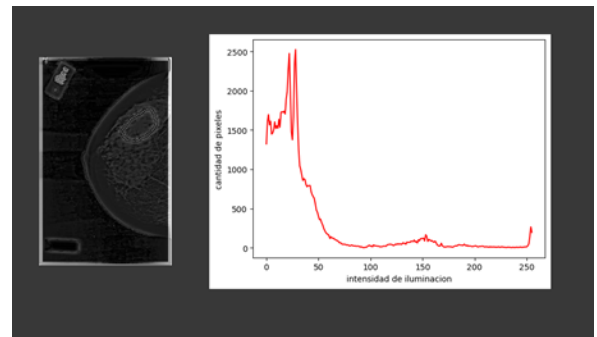


Figura 122 Imagen de una mamografía con histograma con filtro pasa altas.

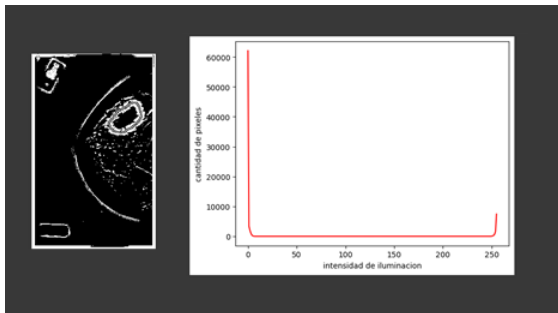


Figura 124 Imagen de una mamografía con histograma con detección de bordes.

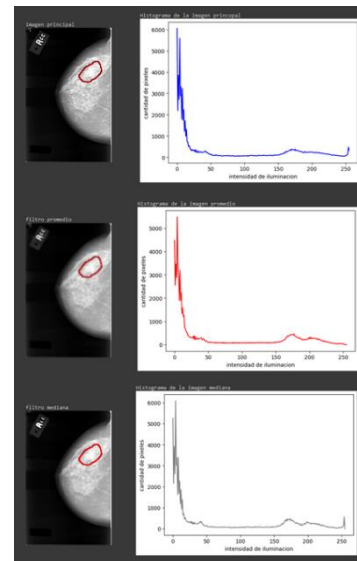


Figura 125 Imagen de una mamografía con histograma con filtro medio y mediana.

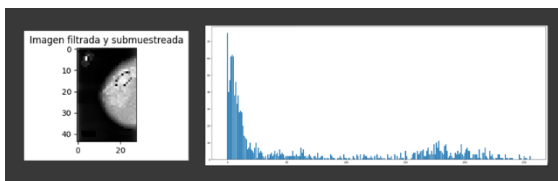


Figura 127 Imagen de una mamografía con histograma con filtro 2d.

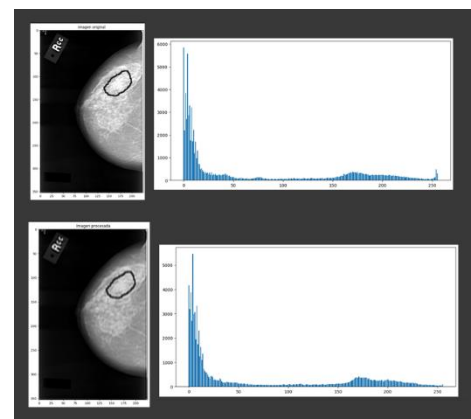


Figura 126 Imagen de una mamografía con histograma con eliminación de ruido y filtro agudizado.

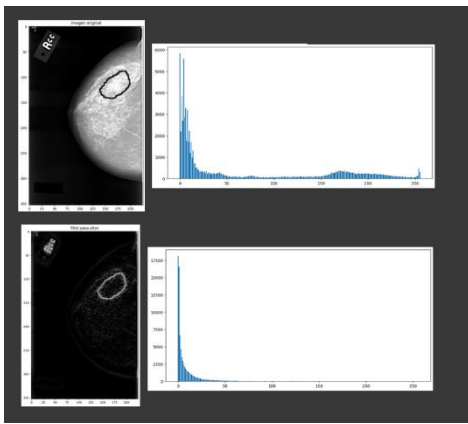


Figura 128 Imagen de una mamografía con histograma con filtro agudizado.

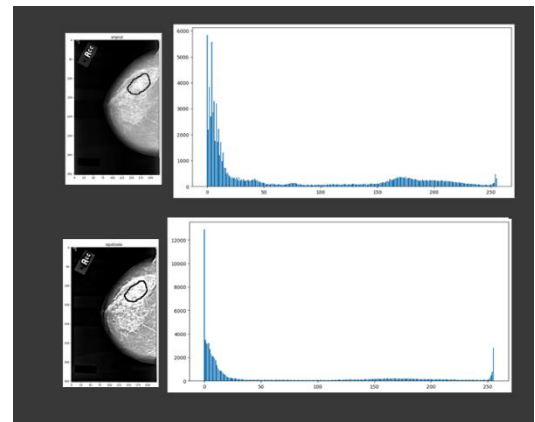


Figura 129 Imagen de una mamografía con histograma con filtro ecualizado.

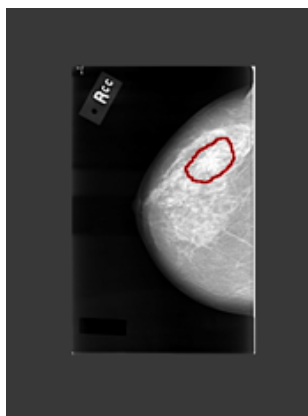


Figura 131 Imagen de una mamografía con lectura opencv.

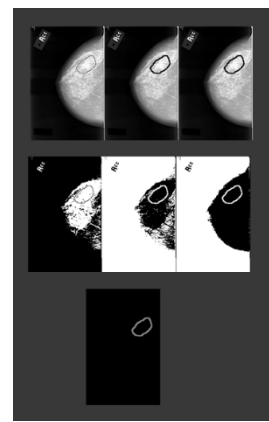


Figura 130 Imagen de una mamografía con conversión a formato estándar (RGB).

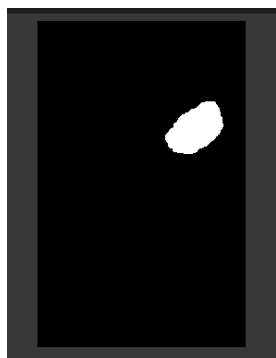


Figura 133 Imagen de una mamografía con relleno de agujeros (fila por fila).

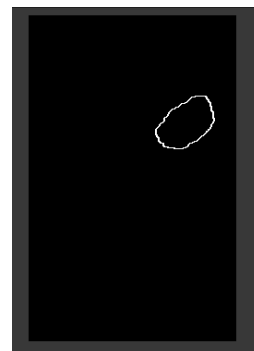


Figura 132 Imagen de una mamografía con rellenos de agujeros con ceros.

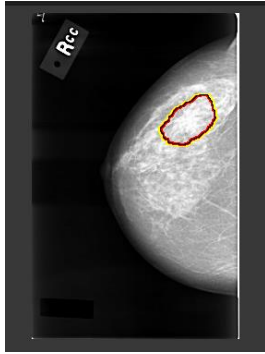


Figura 134 Imagen de una mamografía con el formato open cv (BGR).

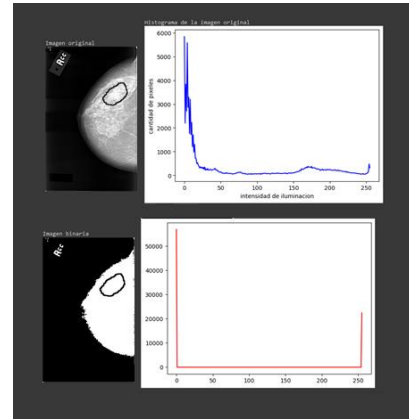


Figura 135 Imagen de una mamografía con histograma con conversión de binario.

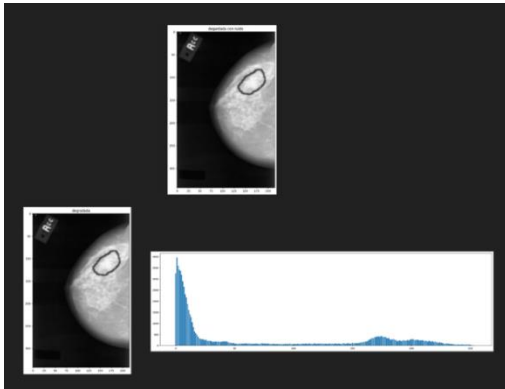


Figura 137 Imagen de una mamografía con histograma con degradación de ruido.

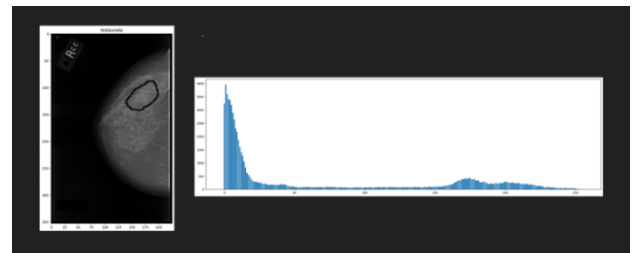


Figura 136 Imagen de una mamografía con histograma restaurada.

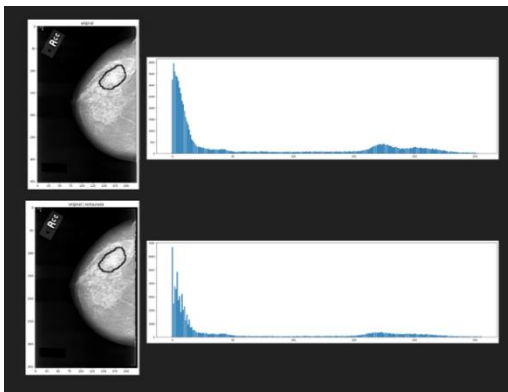


Figura 139 Imagen de una mamografía con histograma con degradación y restauración de la imagen.

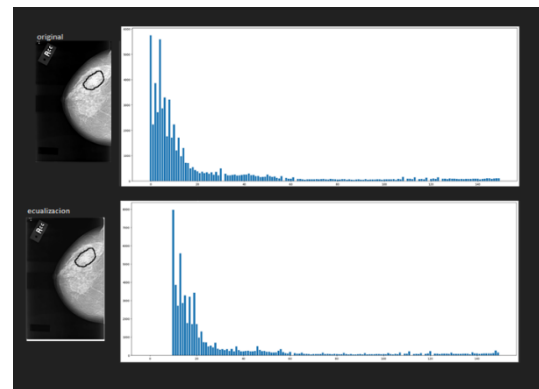


Figura 138 Imagen de una mamografía con histograma con métodos de ecualización.

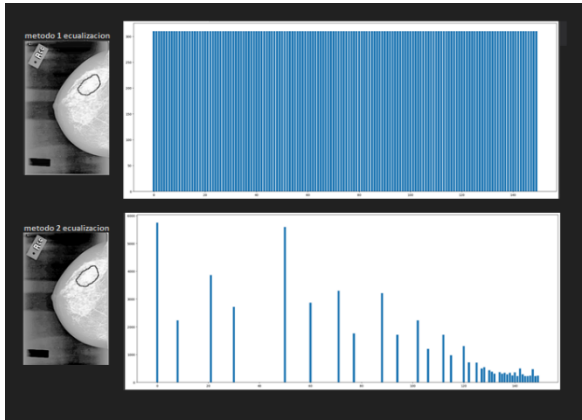


Figura 141 Imagen de una mamografía con histograma con métodos de ecualización.

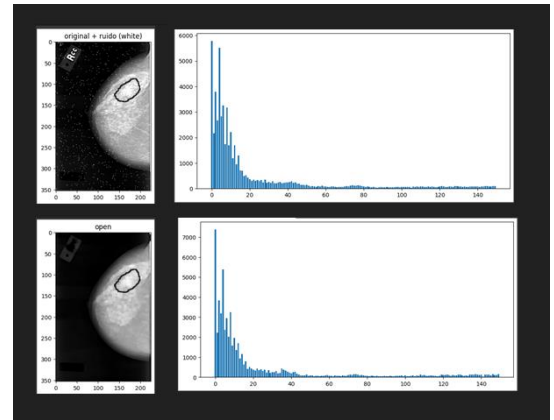


Figura 140 Imagen de una mamografía con histograma con opening.

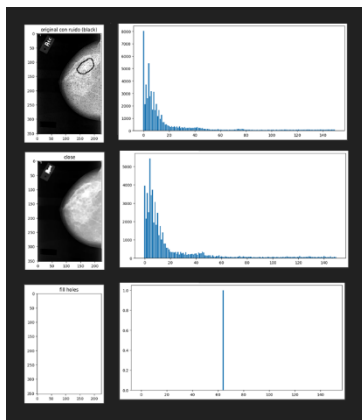


Figura 143 Imagen de una mamografía con histograma con closing.

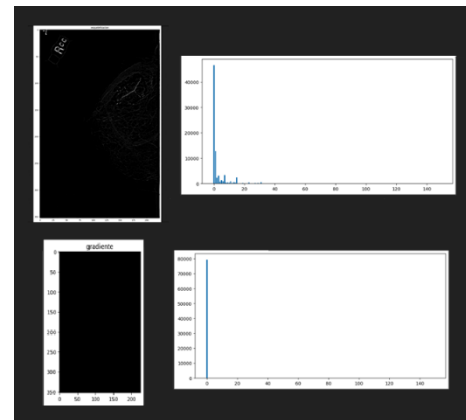


Figura 142 Imagen de una mamografía con histograma con el gradiente.

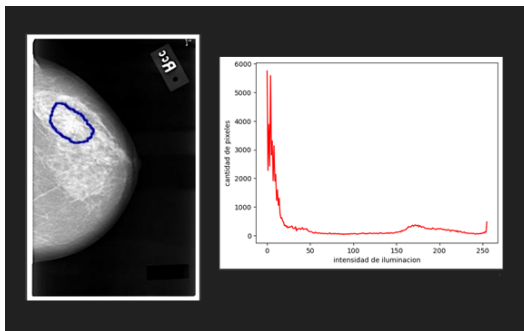


Figura 145 Imagen de una mamografía con histograma con reflejo.

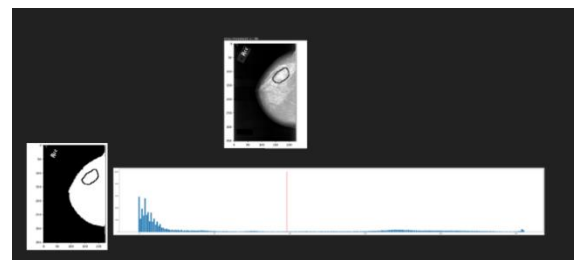


Figura 144 Imagen de una mamografía con histograma con threshold.

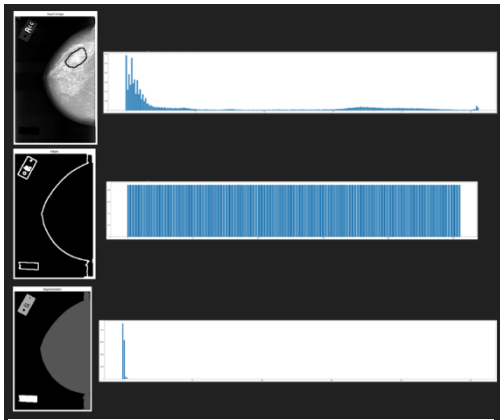


Figura 147 Imagen de una mamografía con histograma con la técnica de bordes y segmentación.

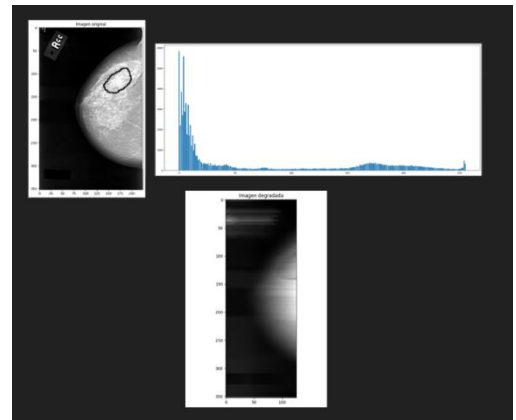


Figura 146 Imagen de una mamografía con histograma degradada.

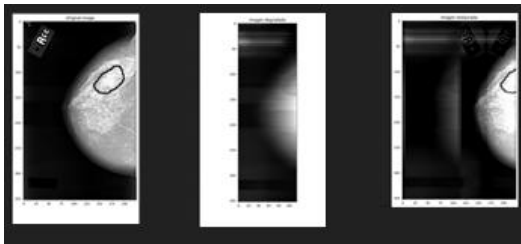


Figura 149 Imagen de una mamografía restaurada.

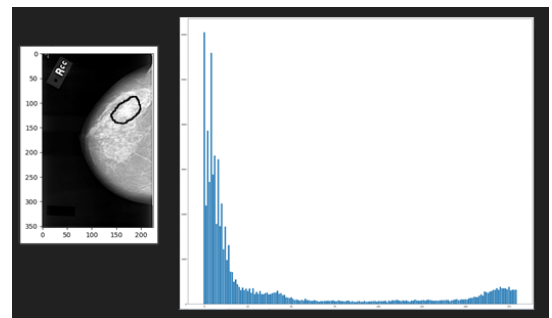


Figura 148 Imagen de una mamografía con histograma a escala de grises.

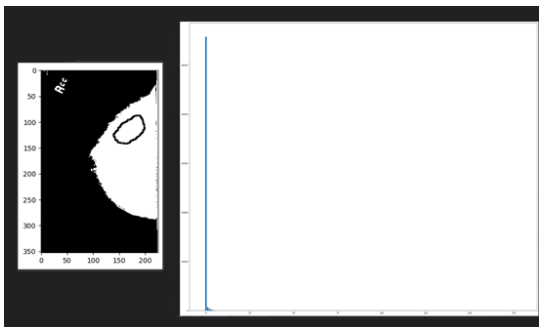


Figura 150 Imagen de una mamografía con histograma con segmentación.

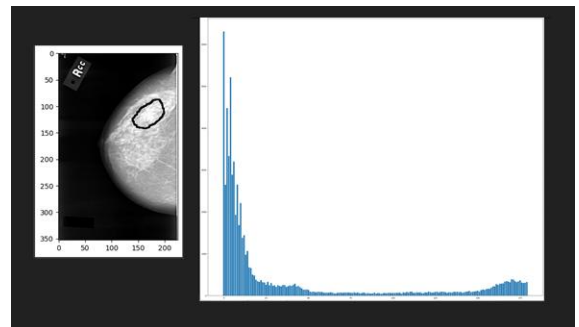


Figura 151 Imagen de una mamografía con histograma con redimensión de imagen.

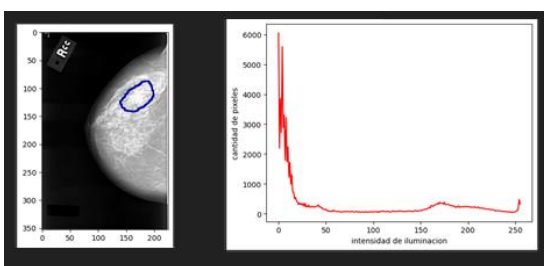


Figura 153 Imagen de una mamografía a color.

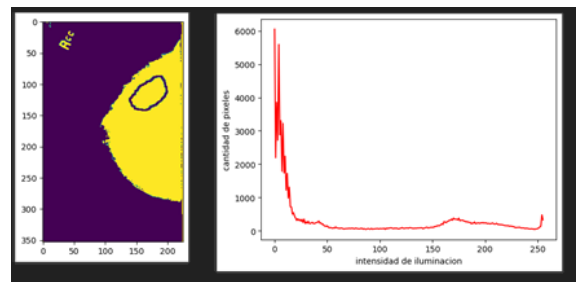


Figura 152 Imagen de una mamografía con histograma con segmentación por umbral.

## Producto

Artículo sometido a la revista “Computación y Sistemas”, CIC-IPN. “Análisis comparativo de técnicas de segmentación de imágenes de mamografías digitales”

## Referencias.

1. **Dra. Nora La Serna Palomino, L. U. R. C. (2009, diciembre).** Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. Recuperado el 19 de septiembre de 2023, de Sistema de bibliotecas y Biblioteca central website: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009\\_n2/v6n2/a02v6n2.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009_n2/v6n2/a02v6n2.pdf)
2. **Sánchez, Y. L. M. (2022, octubre 24).** Epidemiología del cáncer de mama. Recuperado el 8 de agosto de 2023, de Instituto Mexicano del Seguro Social website: <https://www.gob.mx/imss/articulos/epidemiologia-del-cancer-de-mama-318014>
3. **Anatomía de la Mama Conozca todos los elementos que forman la glándula mamaria. (2017, diciembre 12).** Recuperado el 7 de agosto de 2023, de cirugías de la mama website: <https://www.cirugiasdelamama.com/anatomia-de-la-mama?fbclid=IwAR3khOEhRmoRGXnzSWAL3-0cckJA-NPMOSnS25pm1-j1aJ60Dfr-wn2qc2g>
4. **Bertrán, A. S. (2023, enero 24).** Cáncer de mama. Recuperado el 7 de agosto de 2023, de Sociedad Española de Oncología Médica website: <https://seom.org/info-sobre-el-cancer/cancer-de-mama?start=0>
5. **López, S. (2023, abril 13).** ¿Qué tipo de mama tienes según su densidad? Recuperado el 7 de agosto de 2023, de SABER VIVIR TVE website: [https://www.sabervivirtv.com/ginecologia/tipos-de-mama-pecho-densa-grasa-glandular\\_3999](https://www.sabervivirtv.com/ginecologia/tipos-de-mama-pecho-densa-grasa-glandular_3999)
6. **Farma, R. (2011, febrero).** Hablemos del cáncer de mama. Recuperado el 7 de agosto de 2023, de Sociedad Española de Oncología Médica website: [https://www.seom.org/seomcms/images/stories/recursos/infopublico/publicaciones/HABLEMOS\\_CANCER\\_MAMA.pdf](https://www.seom.org/seomcms/images/stories/recursos/infopublico/publicaciones/HABLEMOS_CANCER_MAMA.pdf)
7. **¿Qué es el cáncer? (2023).** Recuperado el 7 de agosto de 2023, de American Cancer Society website: <https://www.cancer.org/es/cancer/entendimiento-del-cancer/que-es-el-cancer.html>
8. **Cáncer de mama. (2023).** Recuperado el 7 de agosto de 2023, de Organización Panamericana de la Salud website: [https://www.paho.org/es/temas/cancer-mama?fbclid=IwAR1nZjrEc321fIE5eknUqspxzMxpCr2S81hs\\_JYqDmPWY9SgjQkHgTUTtB0](https://www.paho.org/es/temas/cancer-mama?fbclid=IwAR1nZjrEc321fIE5eknUqspxzMxpCr2S81hs_JYqDmPWY9SgjQkHgTUTtB0)
9. **Sánchez, Y. L. M. (2022, octubre 24).** Epidemiología del cáncer de mama. Recuperado el 8 de agosto de 2023, de Instituto Mexicano del Seguro Social website: <https://www.gob.mx/imss/articulos/epidemiologia-del-cancer-de-mama-318014>

10. **ESTADÍSTICAS A PROPÓSITO DEL DÍA MUNDIAL CONTRA EL CÁNCER (4 DE FEBRERO) DATOS NACIONALES.** (2023, febrero 2). Recuperado el 8 de agosto de 2023, de INEGI website: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/EAP\\_Cancer.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/EAP_Cancer.pdf)
11. **López., G. A. (2018).** ¿Qué es el cáncer de mama? Recuperado el 8 de agosto de 2023, de esmo website: [https://www.esmo.org/content/download/6594/114963/1/ES-Cancer-de-Mama-Guia-para-Pacientes.pdf?fbclid=IwAR2Ko\\_ZpBt6nerhnpjQRRy0yjj4JqThCDTO8kCk5vt0\\_25Otd87Mvf\\_ygqU](https://www.esmo.org/content/download/6594/114963/1/ES-Cancer-de-Mama-Guia-para-Pacientes.pdf?fbclid=IwAR2Ko_ZpBt6nerhnpjQRRy0yjj4JqThCDTO8kCk5vt0_25Otd87Mvf_ygqU)
12. **De La Cruz Morales Yvan Guillermo Bach Tinoco Yamunaqué Julio, B. (2019).** Determinación de la Calidad de Granos de Arroz Pulido Utilizando Algoritmos de Procesamiento Digital de Imágenes. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de repositorio website: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/7990/BC-4380%20DE%20LA%20CRUZ%20MORALES-TINOCO%20YAMUNAQUE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
13. **Santillán, E. G. (2008, mayo).** “Detección y clasificación de objetos dentro de un salón de clases empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes”. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de UAM website: [http://newton.azc.uam.mx/mcc/01\\_esp/11\\_tesis/tesis/terminada/080513\\_garcia\\_santillan\\_elias.pdf](http://newton.azc.uam.mx/mcc/01_esp/11_tesis/tesis/terminada/080513_garcia_santillan_elias.pdf)
14. **Hernández, S. H. (2018, diciembre).** SEGMENTACIÓN DE MASAS EN IMÁGENES DE MAMOGRAFÍA MEDIANTE AGRUPAMIENTO RESTRINGIDO. Recuperado el 11 de septiembre de 2023, de Júpiter website: [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/13792.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/13792.pdf)
15. **Ramos, I. A. I. (2016, diciembre).** Algoritmos de reconstrucción de imágenes de escala de grises mediante GPU. Recuperado el 12 de septiembre de 2023, de Instituto Politécnico Nacional website: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/23947/T1854.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
16. **José Jaime Esqueda Elizondo, M. (2002, noviembre).** Fundamentos de Procesamiento de Imágenes. Recuperado el 14 de septiembre de 2023, de docplaye website: <https://docplayer.es/4159925-Fundamentos-de-procesamiento-de-imagenes.html>
17. **Cuevas, Erik; Zaldívar, Daniel y Pérez, Marco.** Procesamiento digital de imágenes usando MatLAB & Simulink. Primera edición. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México 2010
18. **Rafael C. González, R. E. W. (1996).** *Tratamiento digital de imágenes.* Boston, MA, Estados Unidos de América: Addison Wesley
19. **Manzano, C. M. A. (2019, febrero).** “PROCESAMIENTO Y ANALISIS DIGITAL DE IMAGENES MEDIANTE DISPOSITIVOS LOGICOS PROGRAMABLES”. Recuperado el 18 de septiembre de 2023, de Universidad Tecnológica de la Mixteca website: [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/10726.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10726.pdf)

20. **Tratamiento digital de imágenes. (2021, febrero).** Recuperado el 19 de septiembre de 2023, de Universidad Tecnológica Nacional website: <https://www.frba.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2021/02/introd-al-proc-de-imagenes.pdf>
21. **Mateos, G. G. (s/f).** PROCESAMIENTO DE IMÁGENES. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de Universidad de Murcia website: [http://dis.um.es/~ginesgm/files/doc/pi/tema2.pdf?fbclid=IwAR3ilA9CN1\\_dcJogRIHWvj5GrUD8CCkDNRb5XCg6\\_yqwXbBObj0BD44mk\\_o](http://dis.um.es/~ginesgm/files/doc/pi/tema2.pdf?fbclid=IwAR3ilA9CN1_dcJogRIHWvj5GrUD8CCkDNRb5XCg6_yqwXbBObj0BD44mk_o)
22. **El Histograma. (2008, julio).** Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de The web foto website: [http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/217-el-histograma?fbclid=IwAR06puBNVmV4I\\_7Kzl1jTsJtJwb3cu\\_fQyJFqNEgeJORHFkWFAqdPuidGjE](http://www.thewebfoto.com/2-hacer-fotos/217-el-histograma?fbclid=IwAR06puBNVmV4I_7Kzl1jTsJtJwb3cu_fQyJFqNEgeJORHFkWFAqdPuidGjE)
23. **Correa, L. (2019).** Procesamiento de imágenes #04. Recuperado el 22 de septiembre de 2023, de github website: <https://github.com/luisicib3r/Procesamiento-de-Imagenes/blob/master/04-Transformaciones%20de%20intensidad.ipynb>
24. **ECUALIZACIÓN DE HISTOGRAMAS EN PYTHON, CON «opencv». (2023, marzo 29).** Recuperado el 22 de septiembre de 2023, de El Programador Chapuzas website: <https://programacionpython80889555.wordpress.com/2023/03/29/ecualizacion-de-histogramas-en-python-con-opencv/>
25. **Querejeta Simbeni, P. (2015, julio).** Procesamiento digital de imágenes. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de Universidad Nacional del SUR website: <http://lcr.uns.edu.ar/fvc/NotasDeAplicacion/FVC-QuerejetaSimbeniPedro.pdf>
26. **CAPÍTULO 2 PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES. (s/f).** Recuperado el 11 de septiembre de 2023, de Universidad de las Américas de Puebla website: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mel/gonzalez\\_g\\_ra/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mel/gonzalez_g_ra/capitulo2.pdf)
27. **Mejía Vilet, J. R. (2002).** Apuntes de procesamiento digital de imágenes. Facultad de Ingeniería UASLP.
28. **Amozaren Villar, A. (s/f).** 1 3. TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES. Recuperado el 11 de septiembre de 2023, de Universidad Politécnica de Madrid website: [http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod\\_label/intro/microsoft-word-teledeteccion\\_y\\_sist\\_tratamiento\\_digital\\_imagenes.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/1068/mod_label/intro/microsoft-word-teledeteccion_y_sist_tratamiento_digital_imagenes.pdf)
29. **Ruiz Fernández, L. Á. (s/f).** La transformada de Fourier. Aplicación al filtrado de imágenes. Recuperado el 18 de septiembre de 2023, de Universidad politécnica de valencia website: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/68301/Ruiz%20-%20La%20transformada%20de%20Fourier.%20Aplicaci%C3%B3n%20al%20filtrado%20de%20im%C3%A1genes.pdf>
30. **Transformadas de la Imagen. (s/f).** Recuperado el 18 de septiembre de 2023, de Departamento de Electrónica y Automática website: <http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/Capitulo2.pdf>

31. **Jiménez, I. L. (2018, enero 28).** Manipulación del contraste de una imagen monocromática por transformación exponencial (Python OpenCV). Recuperado el 12 de septiembre de 2023, de slideshare website: <https://es.slideshare.net/LuisHacker1/manipulacin-del-contraste-de-una-imgen-monocromtica-por-transformacin-exponencial-python-opencv>
32. **La Luz Raúl Tinoco, D. (2009, junio).** SISTEMA DE RECONOCIMIENTO FACIAL POR MEDIO DE EIGENFACES Y REDES NEURONALES. Recuperado el 12 de septiembre de 2023, de Instituto Politécnico Nacional website: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7382/ice%20243.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
33. **Dra. Nora La Serna Palomino, L. U. R. C. (2009, diciembre).** Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. Recuperado el 19 de septiembre de 2023, de Sistema de bibliotecas y Biblioteca central website: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009\\_n2/v6n2/a02v6n2.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009_n2/v6n2/a02v6n2.pdf)
34. **Ramírez, L. (23d. C., enero 52).** Algoritmo k-means: ¿Qué es y cómo funciona? Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de iebs website: <https://www.iebschool.com/blog/algoritmo-k-means-que-es-y-como-funciona-big-data/>
35. **Russ, J. C. (s/f).** Top Hat Filter. Recuperado el 22 de septiembre de 2023, de Molecular Expressions website: <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/digitalimaging/russ/tophatfilter/index.html>
36. **Montalvan, W. A. R. (2020, junio 19).** Procesamiento Automático de Imágenes Digitales Mamográficas DICOM. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de universidad de Guadalajara website: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi5m\\_b8r6BAxWqJ0QIHfV0CYgQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Friadg.udg.mx%2Fbitstream%2F20.500.12104%2F82246%2F1%2FDCUCEA10043FT.pdf&usq=AOvVaw0kdyu8Hns\\_gtw1rFD17wnBJ&opi=89978449](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi5m_b8r6BAxWqJ0QIHfV0CYgQFnoECBUQAQ&url=https%3A%2F%2Friadg.udg.mx%2Fbitstream%2F20.500.12104%2F82246%2F1%2FDCUCEA10043FT.pdf&usq=AOvVaw0kdyu8Hns_gtw1rFD17wnBJ&opi=89978449)
37. **Seruen, J. A. P. (2016, septiembre 21).** Segmentación por umbralización método de otsu. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de slideshare website: <https://es.slideshare.net/JorgeAntonioParraSerquen/segmentacin-por-umbralizacin-mtodo-de-otsu>
38. **Tipos de operaciones morfológicas.** (s/f). Recuperado el 22 de septiembre de 2023, de Math works website: <https://la.mathworks.com/help/images/morphological-dilation-and-erosion.html>
39. **Descripción del producto MATLAB.** (s/f). Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de mathwork website: [https://es.mathworks.com/help/matlab/learn\\_matlab/product-description.html](https://es.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html)
40. **Ingenierías, D. (2023, mayo 11).** Qué es Matlab y para qué sirve. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de “De Ingenierías” website: <https://deingenierias.com/software/matlab>

41. **Chris Rose, Daniele Turi, Alan Williams, Katy Wolstencroft and Chris Taylor. (2006).** DDSM: Digital Database for Screening Mammography. Recuperado el 8 de Agosto de 2023, de University of South Florida Digital Mammography Home Page website: <http://www.eng.usf.edu/cvprg/Mammography/Database.html>
42. **Python. (2023, octubre 6).** El tutorial de Python. Recuperado el 29 de septiembre de 2023, de Python website: <https://docs.python.org/es/3/tutorial/>
43. **Colaboratory. (s/f).** Colaboratory Preguntas frecuentes. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de Colaboratory website: <https://research.google.com/colaboratory/intl/es/faq.html>
44. **Das, T. (2023, septiembre 25).** Google Colab: Todo lo que necesita saber. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de Geekflare website: <https://geekflare.com/es/google-colab/>
45. **Google Colab, una nueva herramienta de Google pensada para especialistas de IA y Data Analysis. (2022, agosto 26).** Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de Tokio website: <https://www.tokioschool.com/noticias/google-colab/>