

**Implementación de un algoritmo para la reducción de la cantidad de bits en la técnica de transmisión de imágenes mosaico mediante el modelado estadístico de las medias de los bloques de la imagen.**

Andino Castellanos, Lizeth Aracely

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera De Ingeniería en Electrónica Y Telecomunicaciones

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Ing. Acosta Buenaño, Freddy Roberto

15 de julio de 2021

## Document Information

Analyzed document	Andino Lizeth_Trabajo Titulación.pdf (D110271548)
Submitted	7/8/2021 2:30:00 PM
Submitted by	Acosta Buenaño Freddy Roberto
Submitter email	fracosta@espe.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	fracosta.espe@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TFG_ONOFRE.docx</b> Document TFG_ONOFRE.docx (D22077656) Submitted by: fracosta@espe.edu.ec Receiver: fracosta.espe@analysis.orkund.com		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.researchgate.net/profile/Hector_Perez-Meana/publication/238764540_Esteganografia_en_una_imagen_digital_en_el_dominio_DCT/links/546a46130cf2397f783015ea.pdf">https://www.researchgate.net/profile/Hector_Perez-Meana/publication/238764540_Esteganografia_en_una_imagen_digital_en_el_dominio_DCT/links/546a46130cf2397f783015ea.pdf</a> Fetched: 10/23/2020 6:02:30 PM		1
<b>W</b>	URL: <a href="http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/download/257/269/">http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/download/257/269/</a> Fetched: 12/23/2020 7:13:12 AM		3
<b>W</b>	URL: <a href="http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21666/1/T-ESPE-043365.pdf">http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/21666/1/T-ESPE-043365.pdf</a> Fetched: 3/1/2021 10:31:08 PM		1
<b>SA</b>	<b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS__FIN_C.BASTIDAS.corregido_05012018.docx</b> Document TESIS__FIN_C.BASTIDAS.corregido_05012018.docx (D34381124) Submitted by: fracosta@espe.edu.ec Receiver: fracosta.espe@analysis.orkund.com		2
<b>SA</b>	<b>Tesis Rev. 13-1-2020 Capítulos.docx</b> Document Tesis Rev. 13-1-2020 Capítulos.docx (D62430070)		3
<b>SA</b>	<b>monografiahk16_10_18.docx</b> Document monografiahk16_10_18.docx (D42678817)		1
<b>SA</b>	<b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / PROYECTO DE TESIS_XAVIER_HERRERA_FINAL.pdf</b> Document PROYECTO DE TESIS_XAVIER_HERRERA_FINAL.pdf (D35752743) Submitted by: fracosta@espe.edu.ec Receiver: fracosta.espe@analysis.orkund.com		1
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12249/1/T-ESPE-053515.pdf">https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12249/1/T-ESPE-053515.pdf</a> Fetched: 3/16/2020 4:35:08 PM		1
<b>SA</b>	<b>Monografia Jaime Tapia.docx</b> Document Monografia Jaime Tapia.docx (D15391688)		1





DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "Implementación de un algoritmo para la reducción de la cantidad de bits en la técnica de transmisión de imágenes mosaico mediante el modelado estadístico de las medias de los bloques de la imagen." Fue realizado por la señorita Andino Castellanos, Lizeth Aracely, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 de julio del 2021



firmado digitalmente por:  
FREDDY ROBERTO  
ACOSTA BUENAÑO

Ing. Acosta Buenaño, Freddy

C.C: 1709439887



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Andino Castellano, Lizeth Aracely, con cédula de ciudadanía n° 1726634080, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Implementación de un algoritmo para la reducción de la cantidad de bits en la técnica de transmisión de imágenes mosaico mediante el modelado estadístico de las medias de los bloques de la imagen."** Es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 8 de julio del 2021

Andino Castellanos, Lizeth Aracely  
C.C: 1726634080



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Andino Castellano, Lizeth Aracely, con cédula de ciudadanía n° 1726634080, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Implementación de un algoritmo para la reducción de la cantidad de bits en la técnica de transmisión de imágenes mosaico mediante el modelado estadístico de las medias de los bloques de la imagen."** En el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 8 de julio del 2021

Andino Castellanos, Lizeth Aracely  
C.C: 1726634080

## **Dedicatoria**

Queridos padres esta tesis quiero dedicársela a ustedes, ya que con su amor y paciencia me apoyaron incondicionalmente en el transcurso de mi carrera, de mi vida entera, por ustedes hoy soy una mujer fuerte, llena de valores y principios, por ustedes he aprendido a no renunciar cuando las cosas se complican y a levantarme cuando me he caído, sin ustedes cumplir este sueño habría sido imposible.

No puedo olvidarme de ese par de viejitos que nunca me abandonan, mis abuelitos, los quiero con la vida, ustedes siempre serán mi inspiración y el motivo por el cual cada día quiero ser mejor.

Por último y para nada menos importante, quiero dedicar este logro a mi hermanito

Sebastián, quien se ha convertido en la razón para jamás desistir, para luchar incansablemente hasta obtener lo que nos proponamos, recuerda que con amor y perseverancia puedes alcanzar tus sueños, nunca dejes de soñar y si lo haces que sea para trabajar por ellos y hacerlos realidad.

## Agradecimiento

A mis padres Edison Andino y Doris Castellanos que día a día me brindan su amor y su apoyo incondicional, gracias por estar pendiente de mí, por ayudarme a superar cada uno de los retos que se me han presentado en el transcurso de mi formación académica, por acompañarme en cada desvelo, por soportar y comprender mi mal humor cuando algo salía mal, por darme fuerza cuando estaba triste y por celebrar mis triunfos y formar parte de mi alegría, gracias por todo el esfuerzo y sacrificios que hacen para que mis hermanos y yo hoy tengamos nuestras profesiones, gracias por el gran ejemplo que nos dan para ser personas de bien.

A mis abuelitos Miguel y Carmita, gracias por ser los segundos padres, por su amor, comprensión, paciencia, por todos sus consejos, gracias por consentirme tanto, por mostrarme el lado más tierno de la vida, me siento muy afortunada de que ustedes sean mis abuelitos los amo.

A mis ñaños Viviana, Mónica y Miguel, por ser más que mis tíos y a mis hermanos Damián, Alejo y Sebas, gracias por ser esas personas en quien puedo confiar, por ayudarme a pasar cada obstáculo que se presenta, por escucharme, por secar mis lágrimas y darme valor para continuar.

A mis amigos, Emi, Ronnie, Cris y Javi, la vida no me pudo haber puesto con otras personas, son los mejores, con ustedes la universidad se hizo un poquito más fácil.

Gracias a mi tutor, el Ingeniero Freddy Acosta quien con su paciencia y gran experiencia me ayudó a culminar mi carrera universitaria, le admiro mucho y deseo que tenga muchos éxitos en su vida.

## Índice de contenido

Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de Tablas .....	14
Índice de Figuras .....	15
Resumen .....	19
Abstract.....	20
Capítulo I.....	21
Introducción.....	21
Antecedentes .....	21
Justificación e Importancia.....	23
Alcance del Proyecto .....	24
Objetivos .....	26
Objetivo General .....	26
Objetivos Específicos.....	26
Organización del Trabajo de Titulación .....	27
Capítulo II.....	28



Marco Teórico .....	28
Esteganografía .....	28
Tipos de esteganografía .....	29
Pura .....	30
Clave secreta .....	30
Clave pública .....	31
Tipos de Algoritmos Estenográficos .....	31
LSB (Least Significant Bit) .....	31
F5 .....	32
Imagen Digital .....	33
Parámetros Estadísticos de la Imagen .....	34
Media .....	35
Desviación Estándar .....	35
Histograma .....	35
Formatos de Imagen Digital .....	35
BMP (Bitmap) .....	36
GIF (Graphics Interchange Format) .....	36
JPG- JPEG (Joint Photographic Experts Group) .....	37
TIF- TIFF (Tagged image file format) .....	37
PNG (Portable Network Graphic) .....	38

Procesamiento Digital de Imagen .....	38
Etapas del Procesamiento Digital de Imágenes.....	40
Muestreo .....	40
Cuantificación .....	41
Codificación.....	41
Función de Densidad de Probabilidad PDF.....	42
Distribución Normal.....	42
Distribución Exponencial.....	44
Distribución Log- normal.....	45
Distribución de Weibull.....	47
Distribución de Rayleigh.....	48
Divergencia de Kullback- Leibler .....	49
Parámetros de Calidad de la Imagen.....	50
RMSE (Root Mean Squared Error).....	51
SSIM .....	51
Capítulo III.....	52
Implementación del Algoritmo .....	52
Descripción General del Programa.....	52
Etapa 1: Creación de la Imagen Mosaico .....	54
Obtención de la PDF de la Desviación Estándar .....	58

Obtención de la PDF de la Media .....	59
Divergencia de Kullback- Leibler .....	61
Bit Stream .....	66
Etapa 2: Recuperación de la Imagen Secreta .....	67
Funciones de Apoyo .....	70
Matdiv .....	70
Ordenar2 .....	72
AngRot .....	74
Construir4 .....	76
AngRec .....	78
Capítulo IV.....	80
Análisis de Resultados.....	80
Tamaño del Flujo de Bits .....	82
Caso A .....	82
Caso B .....	83
Caso C.....	84
Caso D .....	85
Caso E.....	86
Caso F.....	87
Caso G .....	88

Caso H .....	89
Caso I.....	90
Caso J .....	91
Análisis RMSE.....	93
Caso A .....	94
Caso B .....	95
Caso C.....	96
Caso D .....	97
Caso E.....	98
Caso F.....	99
Caso G .....	100
Caso H .....	101
Caso I.....	102
Caso J .....	103
Análisis SSIM .....	105
Capítulo V.....	108
Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros.....	108
Conclusiones .....	108
Recomendaciones .....	109
Trabajos Futuros .....	110

Fuentes Bibliográficas .....	112
------------------------------	-----

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Función de densidad de probabilidad.....	42
<b>Tabla 2</b> Distribuciones de probabilidad y sus parámetros.....	60
<b>Tabla 3</b> Casos de estudio- Pares de imagen secreta y portadora .....	81
<b>Tabla 4</b> Flujo de bits generado con el algoritmo original y el algoritmo nuevo.....	92
<b>Tabla 5</b> Error cuadrático medio utilizando el algoritmo original y el algoritmo nuevo..	105
<b>Tabla 6</b> Índice de similitud estructural utilizando el algoritmo original y el algoritmo nuevo .....	106

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Diagrama de bloques del proceso de esteganografía .....	29
<b>Figura 2</b> Diagrama de bloques de Esteganografía Pura.....	30
<b>Figura 3</b> Diagrama de bloques de Esteganografía con Clave Secreta .....	30
<b>Figura 4</b> Diagrama de bloques de Esteganografía con Clave Pública .....	31
<b>Figura 5</b> Imagen Digital.....	34
<b>Figura 6</b> Formato BMP.....	36
<b>Figura 7</b> Formato GIF.....	37
<b>Figura 8</b> Formato JPG .....	37
<b>Figura 9</b> Formato TIF .....	38
<b>Figura 10</b> Formato PNG.....	38
<b>Figura 11</b> Diagrama de Bloques de Procesamiento Digital de Imagen.....	39
<b>Figura 12</b> Muestreo de una Señal Analógica .....	40
<b>Figura 13</b> Proceso de Digitalización de una Señal Analógica .....	41
<b>Figura 14</b> Distribución Normal .....	43
<b>Figura 15</b> Distribución Exponencial .....	45
<b>Figura 16</b> Distribución Log- Normal.....	46
<b>Figura 17</b> Distribución de Weibull .....	47
<b>Figura 18</b> Distribución de Rayleigh.....	48
<b>Figura 19</b> Diagrama de Bloques de Programa.....	54
<b>Figura 20</b> Diagrama de Flujo para crear la Imagen Mosaico (1) .....	55
<b>Figura 21</b> Diagrama de Flujo para crear la Imagen Mosaico (2) .....	57
<b>Figura 22</b> Diagrama de Flujo para crear la Imagen Mosaico (3) .....	58
<b>Figura 23</b> Diagrama de Flujo para obtener la PDF de la Media (1).....	60
<b>Figura 24</b> Diagrama de Flujo para la obtención de la PDF de la Media (2) .....	61

<b>Figura 25</b>	Diagrama de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler (1) .....	62
<b>Figura 26</b>	Diagrama de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler (2) .....	63
<b>Figura 27</b>	Diagrama de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler (3) .....	65
<b>Figura 28</b>	Diagrama de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler (4) .....	66
<b>Figura 29</b>	Diagrama de Flujo para la Recuperación de la Imagen Secreta .....	68
<b>Figura 30</b>	Diagrama de Flujo para obtener el MSSI y RMSE .....	69
<b>Figura 31</b>	Imágenes obtenidas con la Función Matdiv .....	70
<b>Figura 32</b>	Diagrama de Flujo de la Función Matdiv .....	71
<b>Figura 33</b>	Imagen obtenida con la Función Ordenar2.....	72
<b>Figura 34</b>	Diagrama de Flujo de la Función Ordenar2.....	73
<b>Figura 35</b>	Imagen obtenida con la Función AngRot.....	74
<b>Figura 36</b>	Diagrama de Flujo de la Función AngRot.....	75
<b>Figura 37</b>	Imágenes obtenidas con la Función Construir4 .....	76
<b>Figura 38</b>	Diagrama de Flujo de la Función Construir4 .....	77
<b>Figura 39</b>	Imágenes obtenidas con la Función Construir4 .....	78
<b>Figura 40</b>	Base de datos de Imágenes.....	80
<b>Figura 41</b>	Gráfica de la Distribución Caso A .....	82
<b>Figura 42</b>	Gráfica de la Distribución Caso B .....	83
<b>Figura 43</b>	Gráfica de la Distribución Caso C .....	85
<b>Figura 44</b>	Gráfica de la Distribución Caso D .....	86
<b>Figura 45</b>	Gráfica de la Distribución Caso E .....	87
<b>Figura 46</b>	Gráfica de la Distribución Caso F .....	88
<b>Figura 47</b>	Gráfica de la Distribución Caso G .....	89
<b>Figura 48</b>	Gráfica de la Distribución Caso H .....	90
<b>Figura 49</b>	Gráfica de la Distribución Caso I.....	91



<b>Figura 50</b> Gráfica de la Distribución Caso J.....	92
<b>Figura 51</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso A.....	94
<b>Figura 52</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso A.....	94
<b>Figura 53</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso B.....	95
Figura 54 Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso B.....	95
<b>Figura 55</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso C .....	96
<b>Figura 56</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso C .....	97
<b>Figura 57</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso D .....	97
<b>Figura 58</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso D .....	98
<b>Figura 59</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso E.....	98
<b>Figura 60</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso E.....	99
<b>Figura 61</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso F.....	99
Figura 62 Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso F.....	100
<b>Figura 63</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso G .....	100
<b>Figura 64</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso G .....	101
<b>Figura 65</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso H .....	101
<b>Figura 66</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso H .....	102

<b>Figura 67</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso I .....	102
<b>Figura 68</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso I .....	103
<b>Figura 69</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso J .....	104
<b>Figura 70</b> Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso J .....	104

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal es crear un algoritmo que permita reducir la cantidad de bits en la técnica de transmisión de imágenes mosaico mediante el modelado estadístico de las medias de los bloques de la imagen, para lo cual inicialmente estableció una base de datos con 20 imágenes, las cuales fueron previamente seleccionadas para que trabajen como imagen secreta o portadora, posterior a esto al ejecutarse el algoritmo el par de imágenes con el que se trabaja son reajustadas a una misma medida tanto en el eje horizontal como vertical, para ser cortadas en bloques los cuales serán procesados de tal manera que se consiga obtener la imagen mosaico que es resultado del procesamiento de la imagen secreta para que se parezca a la imagen portadora, para reducir el flujo de bits se obtuvo la PDF de las medias de cada bloque de la imagen secreta en cada uno de sus componentes de color RGB de tal forma que se envió los datos de mayor prioridad, una vez obtenida la imagen mosaico y el flujo de datos a ser enviados se procede a realizar el algoritmo de recepción en el cual se realizó el proceso contrario al antes mencionado, con el objetivo de recuperar la imagen secreta que se envió, para verificar el funcionamiento de este algoritmo su análisis fue basado en las métricas de calidad RMSE, error cuadrático medio y el SSIM, índice de similitud estructural y finalmente se comparó utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018).

### **PALABRAS CLAVE:**

- **IMAGEN MOSAICO**
- **ESTEGANOGRAFÍA**
- **ALGORITMO**
- **RMSE**
- **SSIM**

### **Abstract**

The main objective of the present project is to create an algorithm that allows reducing the amount of bits in the mosaic image transmission technique by means of the statistical modeling of the means of the image blocks, for which a database with 20 images, which were previously selected to work as a secret or carrier image, after this, when the algorithm is executed, the pair of images with which it works are readjusted to the same measure both on the horizontal and vertical axis, to be cut into blocks which will be processed in such a way as to obtain the mosaic image that is the result of the processing of the secret image so that it resembles the carrier image, to reduce the bit flow, the PDF of the means of each Block the secret image in each of its RGB color components in such a way that the highest priority data was sent, once the mosaic image was obtained and the data flow to be sent proceeds to perform the reception algorithm in which the opposite process was carried out. mentioned, in order to recover the secret image that was sent, to verify the operation of this algorithm its analysis was based on the RMSE quality metrics, mean square error and the SSIM, structural similarity index and finally it was compared using the algorithm proposed in (Acosta, 2018).

#### **Keywords:**

- **MOSAIC IMAGE**
- **STEGANOGRAPHY**
- **ALGORITHM**
- **RMSE**
- **SSIM**

## Capítulo I

### Introducción

#### Antecedentes

A lo largo del tiempo, la humanidad se ha preocupado por el ocultamiento de información al momento de transmitir algún tipo de mensaje, de tal manera que únicamente el receptor pueda leerla, de esta manera la información se mantendrá privada y confidencial, así por ejemplo, se puede destacar algunos métodos utilizados en la antigüedad como la escritura de mensajes con tinta invisible a base de zumo de limón, tintas elaboradas a partir de reacciones químicas las cuales solamente eran visibles mediante la exposición al calor, dichos métodos en la actualidad son bastante obsoletos, sin embargo, a partir de la Segunda Guerra Mundial, se dieron importantes avances tanto en la ciencia como en la tecnología resultado de la investigación militar que posteriormente fueron usados por los civiles y están presentes en la tecnología actual, uno de los avances más importantes radica en la ocultación de información de tal forma que se desarrolló la esteganografía.

Como se menciona anteriormente la esteganografía es un método que ha perdurado durante siglos, esta es una rama de la criptografía la cual se encarga del estudio de la ocultación de información secreta en medios digitales ya sean de audio, imagen o video, en otra información o mensaje, de tal forma, que se camufla el mensaje a plena vista de las personas sin que ellas se den cuenta.

En la actualidad se continúa realizando estudios para mejorar este método de ocultación de información, como es el trabajo de investigación de (Ya-Lin Lee, Wen-Hsiang Tsai, 2014), en el que desarrollan el método de imagen mosaico, cuyo propósito es ocultar la información de una imagen secreta en otra imagen denominada portadora,

esto se lo consigue dividiendo en bloques de  $N \times N$  a ambas imágenes y posteriormente transformar las propiedades de la imagen secreta de tal forma que se genera una imagen mosaico para que esta luzca como la imagen portadora, esto se lo realiza utilizando la transformación de color reversible.

Este método ha sido de gran utilidad, sin embargo, está sujeto a mejoras puesto que uno de los problemas que esta técnica presenta es la capacidad de incrustación de información, puesto que se requiere de un vector que contenga toda la información de la imagen para posteriormente recuperarla en el receptor con las menores pérdidas de calidad, por lo cual en el trabajo de investigación de (Acosta, 2018), proponen una técnica para la reducción de datos en la imagen mosaico, modelando la distribución estadística de la desviación estándar de cada bloque de la imagen, con lo cual se obtuvieron resultados satisfactorios ya que esta propuesta permitió mejorar el uso del ancho de banda al reducir la cantidad de bits necesarios para recuperar la imagen secreta.

Pese a los resultados obtenidos en la investigación antes mencionada de (Acosta, 2018), se ve necesario crear un algoritmo que permita reducir más la cantidad de bits a ser transmitidos, por ello en este trabajo de investigación se pretende hacerlo mediante la obtención de la PDF del parámetro estadístico "media" obtenido de la imagen mosaico previamente generada, con lo que se conseguirá enviar los datos más relevantes de dicho parámetro por ende se reducirá el flujo de bits incrustados en la imagen a ser enviada por consiguiente el ancho de banda se utilizará de forma óptima.

Posterior al proceso antes mencionado se realizará la recuperación de la imagen de interés a la que se le denomino imagen secreta, cuyos parámetros necesarios para esta función serán la imagen mosaico y el flujo de bits incrustados, una vez recuperada la imagen de interés se realizará la comparación entre la misma y la imagen secreta

inicial con ayuda de los valores de RMSE y SSIM, con lo cual se puede analizar la calidad de la imagen recuperada, en consecuencia, se podrá definir la validez de este algoritmo.

### **Justificación e Importancia**

Con la permanente evolución de Internet, el mundo se encuentra interconectado a través de él, así pues, el sistema análogo ha quedado obsoleto frente al sistema digital en cuanto a la forma de transmitir información y por ende generar comunicación.

El sistema digital presenta varias ventajas a comparación de la transmisión de información tradicional, es decir, la transmisión analógica, entre las ventajas más destacadas son que la transmisión por señales digitales es una forma más eficiente y flexible, dado que son menos susceptibles al ruido, el tipo de información se almacena de forma rápida, ágil y en cantidades cada vez más grandes, la información transmitida es mucho más precisa, sus dispositivos tienden a ser más pequeños, sin embargo, una de las desventajas que presenta el sistema de transmisión digital, es el limitado ancho de banda.

Este trabajo de investigación se enfoca en la transmisión de imágenes puesto que en la actualidad se han creado varias aplicaciones que permiten el intercambio de información y entre esta se encuentran las imágenes, por ende el propósito es implementar un algoritmo que permita reducir el flujo de datos de la imagen a ser transmitida conservando la calidad de la misma, para lo cual se basará en el método de imagen mosaico el cual permitirá realizar un intercambio de información seguro ya que este consiste en enviar una imagen secreta a través de una imagen portadora, cuya imagen será recuperada únicamente por el receptor de interés.

Sin embargo, la dificultad de este método radica en que genera una gran cantidad de datos necesarios para la recuperación de la imagen secreta, por ello se ha realizado un algoritmo que permita reducir este flujo de datos obteniendo la información más relevante a partir de los datos obtenidos del parámetro estadístico “media” generado en la imagen mosaico, lo cual se conseguirá obteniendo la PDF (Función de densidad de probabilidad) de la media, de tal forma que este nuevo y reducido flujo de datos será embebido en la imagen mosaico y permitirá realizar la recuperación de la imagen secreta, con ello se conseguirá transmitir la información utilizando un menor ancho de banda, es decir, se dará un óptimo uso de este recurso.

### **Alcance del Proyecto**

Dado el problema planteado en las secciones anteriores acerca del limitado ancho de banda que se dispone para realizar la transmisión de una imagen mosaico, es decir encriptada, el presente proyecto plantea un algoritmo que permita reducir significativamente el flujo de bits a ser embebido en la imagen mosaico generada, sin embargo, este flujo de bits deberá contener la información más relevante acerca de la imagen secreta para posteriormente recuperarla y mantener la calidad de la misma.

Para el desarrollo de este algoritmo, será necesario basarse en la técnica de imagen mosaico ya que esta técnica permitirá enviar una imagen de forma segura, para ello a la imagen a transmitir se le denominará imagen secreta, misma que se ocultará en otra imagen denominada portadora, estas serán seleccionadas de una base de datos de 20 imágenes, a partir de las dos imágenes seleccionadas previamente se procede a dividir las en bloques, los cuales serán ordenados de forma ascendente de acuerdo a la desviación estándar, es decir, se ordenara de acuerdo a la cantidad de información que existe en cada bloque de las imágenes correspondientes, a continuación se aplicará la



técnica de transferencia de color NRCT, con lo que se conseguirá que los componentes de la imagen secreta lleguen a ser lo más similares posible a los de la imagen portadora [4], se realizará la rotación de cada bloque de la imagen secreta en ángulos de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$  y se conservará la posición que presente el mínimo RMSE con respecto al bloque de la imagen portadora correspondiente, por último se embebe el flujo de bits con la información relevante de la imagen mosaico, la cual será suficiente para recuperarla después de ser transmitida (Onofre Gabriela, Acosta Freddy, 2016).

Este flujo de bits abarca los datos de la desviación estándar, media, índices de posición y ángulos de rotación, en este proyecto se realizará un análisis enfocado en los datos de la media, puesto que se genera una gran cantidad de datos al obtener la media de cada uno de los bloques generados para crear la imagen mosaico, por lo tanto se determinará la PDF (Función de Densidad de Probabilidad) de los datos de la media a partir de la distribución que mejor se ajuste al histograma de dichos datos con la ayuda de la teoría de Divergencia de Kullback- Leibler, con ello se conseguirá los datos más importantes de este parámetro estadístico y por ende se reducirá notablemente el flujo de bits a ser incrustado en la imagen mosaico que se enviará.

Es de suma importancia seleccionar la distribución que mejor se ajuste a los datos de la media, puesto que, al receptarse la imagen enviada y reorganizar los datos con el tipo de distribución con el mejor ajuste se obtendrá la imagen de interés con una mayor calidad de definición, lo cual se podrá corroborar a partir de los parámetros estadísticos RMSE (Root Mean Square Error) y el SSIM (Structural Similarity Index), los cuales permitirán conocer la similitud entre la imagen recibida y la imagen secreta.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Implementar un algoritmo que permita reducir la cantidad de bits en la técnica de transmisión de imágenes mosaico mediante el modelado estadístico de las medias de los bloques de la imagen.

### **Objetivos Específicos**

- Realizar el estudio del arte acerca del procesamiento digital de imágenes, método de esteganografía, técnica de imagen mosaico, técnica NRCT “transformación de color reversible” e investigar tipos de funciones de distribución que puedan representar los datos de las medias.
- Seleccionar el mejor método para el procesamiento digital de imágenes y el método para la transmisión de las imágenes.
- Implementar el algoritmo en Matlab para el procesamiento digital de imágenes y la recuperación de la misma en la recepción.
- Evaluar el desempeño del algoritmo.
- Analizar resultados.

## Organización del Trabajo de Titulación

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera:

En el capítulo I se menciona los antecedentes, justificación, alcance y los objetivos del trabajo de investigación, lo cual le permite al lector tener una idea del enfoque del proyecto y de lo que se tratará en los siguientes capítulos.

El capítulo II se presenta información fundamental ciertas definiciones, teorías y procedimientos que serán importantes para la implementación de este trabajo de investigación, para ello se explica lo que es la esteganografía, el método de imagen mosaico, los parámetros estadísticos de una imagen, definición de PDF (Función de densidad de probabilidad), tipos de distribuciones, la Divergencia de Kullback – Leibler, definición del parámetro RMSE y SSIM y definición de ancho de banda.

El capítulo III describe el desarrollo del algoritmo y su funcionamiento mediante diagramas de flujo y diagramas de bloque, adicionalmente se da una explicación específica acerca de las acciones que se consideraron para la implementación del algoritmo.

En el capítulo IV se presentará el análisis de las pruebas realizadas con varias imágenes y la comparación de los resultados de RMSE y SSIM con el método realizado en el trabajo de (Acosta Buenaño Freddy, Mora Jiménez Inmaculada, Olmedo Gonzalo, Rojo Álvarez José, 2018),

Finalmente, en el capítulo V se detallan las conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros que se pueden desarrollar a partir de este trabajo de investigación.

## Capítulo II

### Marco Teórico

#### Esteganografía

Actualmente la información ya sea personal o empresarial, es el activo más valioso ya que estos datos pueden ser sometido a modificaciones, ser destruidos o ser vistos maliciosamente por terceros, por ende, la seguridad de esta se ha convertido en un factor importante.

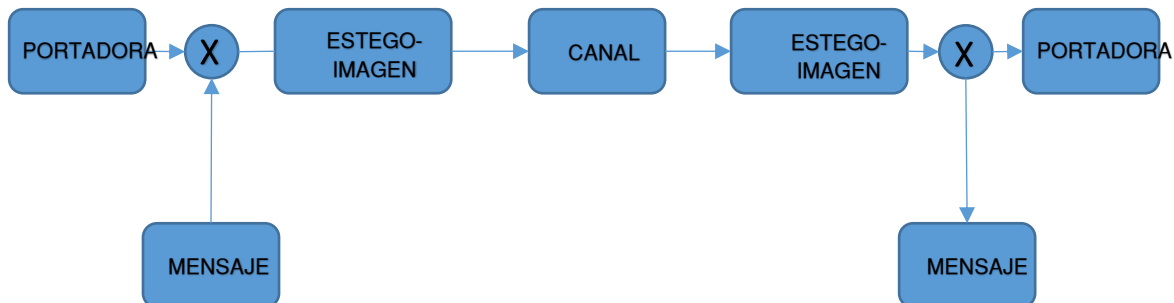
Una de las formas de resguardar la información y mitigar ataques externos es la esteganografía, la cual es una ciencia que permite ocultar información sea esta de tipo imagen, video o algún archivo de texto de interés en un mensaje diferente al que se le denomina mensaje portador (Ya- LIn & Wen-Hsiang, 2014), de tal manera que genera una comunicación segura y confidencial, en el presente proyecto se enfoca a la esteganografía aplicada a la información de tipo imagen, para efectuar el método en este caso es necesario determinar los siguientes elementos:

- Imagen secreta: Información de interés, misma que se va a ocultar.
- Imagen portadora: Información en la cual se ocultará la imagen secreta.
- Estego- Imagen: Información generada por los datos de la imagen secreta, esta tiene apariencia de la imagen portadora.

El proceso realizado por la esteganografía puede ser observado en la Figura 1.

**Figura 1**

Diagrama de bloques del proceso de esteganografía.



Nota. Tomado de Esteganografía en una imagen digital en el dominio DCT, por Velasco C., Lopez J., Nakano M. & Pérez H., 2006, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, México.

A menudo la esteganografía suele ser confundida con la criptografía, dado que las dos son procesos que brinda protección a la información, sin embargo, son estas utilizan métodos diferentes, pero a la vez estas se pueden complementar para dar mayor robustez a la seguridad de la información.

Cabe recalcar que la criptografía a diferencia de la esteganografía, cifra o codifica la información, de tal manera que esta se inentendible para terceros, mientras que la esteganografía envía la información camuflado en otro mensaje el cual pase desapercibido (Morocho, Zambrano, Carvajal & López, 2015).

### Tipos de esteganografía

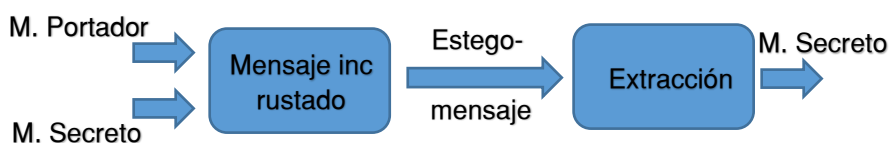
En (Sumathi, Santaman & Umamaheswari, 2013), describe tres tipos de esteganografía, esta clasificación consiste en la clave para acceder a la información.

## Pura

En este tipo de esteganografía no es necesario tener información previa, es decir, algún tipo de clave para que inicie la comunicación, la seguridad en este método depende de que la información pase desapercibida, como se puede observar en la Figura 2.

**Figura 2**

*Diagrama de bloques de Esteganografía Pura.*



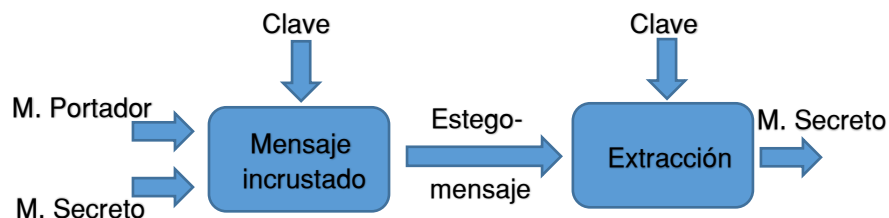
*Nota.* Comparación de técnicas esteganográficas de dominio espacial y dominio frecuencial en imágenes digitales, por Sialer F., 2016, UNA- Universidad Alma de Guerrero, Perú.

## Clave secreta

En este tipo de esteganografía se requiere de una clave tanto para que el transmisor incruste el flujo de datos en la imagen con para que el receptor pueda extraer la información de interés, la cual se puede observar en la Figura 3.

**Figura 3**

*Diagrama de bloques de Esteganografía con Clave Secreta.*



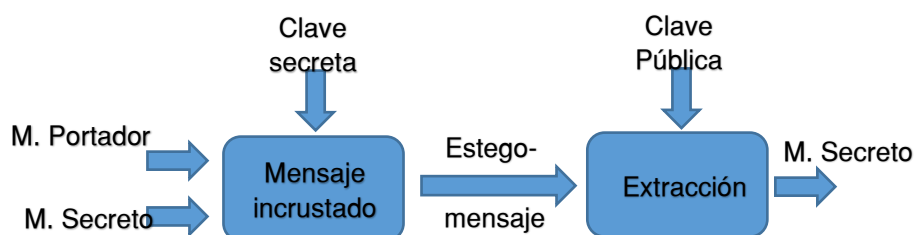
*Nota.* Comparación de técnicas esteganográficas de dominio espacial y dominio frecuencial en imágenes digitales, por Sialer F., 2016, UNA- Universidad Alma de Guerrero, Perú.

## Clave pública

Este sistema requiere de dos claves, una clave secreta, la cual permite incrustar el flujo de datos en la imagen y una clave pública, esta permite extraer la información de interés, cuyo diagrama se puede observar en la Figura 4.

**Figura 4**

*Diagrama de bloques de Esteganografía con Clave Pública.*



*Nota.* Comparación de técnicas esteganográficas de dominio espacial y dominio frecuencial en imágenes digitales, por Sialer F., 2016, UNA- Universidad Alma de Guerrero, Perú.

## Tipos de Algoritmos Estenográficos

### LSB (Least Significant Bit)

Es uno de los algoritmos de fácil implementación para ser aplicados a imágenes ya que esta se presenta como un archivo con diferentes intensidades de luz y colores en diferentes áreas denominados pixeles.

Este proceso consiste en sustituir una cantidad de bits de información relevante de la imagen secreta, por la misma cantidad de bits menos significativos, los cuales son usados para representar un pixel de la imagen portadora, mientras que para la extracción de la imagen secreta en cuestión se tomarán los bits menos significativos de cada pixel de la estego- imagen, lo cual permitirá recuperar la imagen secreta.

Cabe recalcar que este algoritmo permite el uso de imágenes en diferentes formatos, sin embargo, se hará uso del formato JPEG dado que en la actualidad la transmisión de información sea esta de tipo multimedia o texto es enviado principalmente por internet, por ende, las imágenes deben ser comprimidas para acelerar el proceso de envío, por ello el formato JPEG es ideal para la implementación de este algoritmo.

Como se menciona anteriormente este algoritmo modifica el bit menos significativo, es decir, si se tiene una imagen en la que cada pixel es representada por 8 bits, el algoritmo modificará al bit que se encuentra a la derecha del byte en cuestión, haciendo referencia al presente proyecto se considerará una imagen de 24 bits por cada pixel, en otras palabras, se tendrá 8 bits por cada componente de color, dado que es una imagen RGB, entonces al modificar el bit menos significativo se estaría insertando 3 bits de información secreta en cada pixel de la imagen (Morocho, 2014).

El algoritmo LSB tiene dos esquemas para la ocultación de la información, uno de ellos es el esquema secuencial, este consiste en a incrustar los bits de información de la imagen secreta desde el primer pixel de la imagen portadora hasta que termine de insertar los bits de información, este proceso se ejecuta de manera ordenada, el segundo esquema es el de embebido aleatorio, en este se aplica algún método de selección aleatoria del pixel en el que se incrustará la información a ocultar, la diferencia entre ambos esquemas radica en que el grado de invisibilidad de la información secreta aumenta cuando se realiza una selección aleatoria.

## **F5**

Por otro lado, se tiene el algoritmo F5, el cual trabaja en el dominio de la frecuencia con la DCT (Transformada Discreta del coseno), este algoritmo consiste en



ocultar los bits del mensaje en este caso sería la imagen a enviar dentro de los coeficientes obtenidos por la transformada discreta del coseno del mensaje portador, estos coeficientes son elegidos de forma aleatoria, una de las características más importantes de este algoritmo es que utiliza una matriz para embeber los datos que minimiza la cantidad de cambios requeridos para ocultar el mensaje.

En el trabajo realizado por (Morocho, 2014), se especifican los siguientes parámetros para la implementación del algoritmo F5:

- Factor Q de calidad para la estego- imagen, este generalmente es de 75.
- Archivo de entrada, cuyo formato puede ser JPEG, BMP, TIFF o GIF.
- Se debe asignar un nombre al archivo de salida
- Archivo en el cual se desea ocultar la información principal o de interés.
- Clave a la que se le denomina estego- clave, la misma que es requerida para un Generador Pseudoaleatorio de Números (GPAN).
- Comentario, el cual será insertado de manera opcional en la cabecera de la imagen.

### **Imagen Digital**

La imagen digital es un arreglo bidimensional, es decir, es un conjunto de píxeles (picture elements) donde cada uno de ellos consta de amplitud o intensidad y su ubicación, estos píxeles se encuentran codificados mediante ceros y unos de tal manera que se genera un mapa de bits, por ello estos pueden ser sometidos a algoritmos de compresión con una pérdida mínima de calidad (Velasco, López, Nakano & Pérez,

2007), los formatos generalmente usados son JPEG y GIF, estos son de mucha utilidad dado que evitan tiempos de carga excesivos al ser transmitidos, para un mejor entendimiento se puede observar la Figura 5.

**Figura 5**

*Imagen Digital.*



*Nota.* Procesamiento Digital de Imágenes, por Martínez M., 2013, Universidad Autónoma de Puebla, México.

Cada pixel está representado por una cantidad de bits, las longitudes de bits frecuentemente empleadas son: de 8 bits por pixel representa a una imagen monocromática, sus intensidades de color varían en escala de grises, por otro lado, se encuentran las imágenes de 24 bits por pixel, esta representa a una imagen a color común mente denominada imagen RGB, se la denomina de esta manera ya que está formada por tres matrices o canales que son Red, Green, Blue, donde un pixel tiene 8 bits en cada canal (González, 2011).

### **Parámetros Estadísticos de la Imagen**

Previo al análisis y manipulación de la imagen es necesario extraer su información de tal forma que estos permitan describir y conocer mejor los datos con los que se va a trabajar, estos datos pueden ser obtenidos mediante el cálculo de parámetros estadísticos básicos como los son la media, desviación estándar e histograma, los cuales se describirán adelante (González, 2011).

## **Media**

Este parámetro almacena el valor medio de grises en una imagen monocromática y el valor medio del color en una imagen RGB, dicho de otra manera, la media representa el brillo o luminosidad de una imagen.

## **Desviación Estándar**

Con el cálculo de la desviación estándar, se obtienen datos de la medida de contraste, es decir, representa la variación de la información por ejemplo una imagen con una desviación estándar pequeña indica que la imagen es plana o tiene reducida información.

## **Histograma**

Una manera más sencilla de visualizar los datos de una imagen es obteniendo su histograma, este permite generar una idea aproximada de la distribución de escala de grises o color en una imagen monocromática e imagen RGB respectivamente, además proporciona una idea del contraste que la imagen en cuestión puede tener.

El histograma representa la relación que existe entre la frecuencia de aparición con los valores de la imagen, en consecuencia, representa la cantidad de veces que se presenta un valor en la imagen de estudio.

## **Formatos de Imagen Digital**

Existen números tipos de formatos cuyas funciones varían de acuerdo a diferenEstes parámetros uno de ellos es el tipo de imagen sea esta de mapa de bits, imagen vectoriales o gráficos rasterizados, otra categorización de los formatos para

imágenes digitales depende del propósito que estas tengan, este proyecto se enfocará en las imágenes de mapa de bits cuyos formatos más utilizados son los descritos a continuación.

### **BMP (Bitmap)**

Este formato fue desarrollado principalmente para aplicaciones de Windows, como su nombre lo indica este tipo de imagen está formado por un conjunto de píxeles, mientras el píxel sea pequeño y mayor cantidad de estos exista la imagen tendrá mayor calidad puesto que tiene una gran cantidad de información, sin embargo, esto representa una desventaja ya que puede llegar a ser un archivo demasiado pesado, cuyo formato se puede observar en la Figura 6.

#### **Figura 6**

*Formato BMP*



*Nota.* Tomado de Formatos de imagen digital, por Ordoñez, C., 2005, Revista digital universitaria, vol. 5.

### **GIF (Graphics Interchange Format)**

Este formato es ideal para comprimir imágenes de gran tamaño, sin embargo, este es mayormente utilizado en imágenes con grandes áreas de un color similar, pero, este formato no es óptimo cuando la calidad de la imagen es prioridad puesto que su paleta de colores es de 256, su formato se puede observar en la Figura 7.

**Figura 7**

*Formato GIF.*



*Nota.* Tomado de Formatos de imagen digital, por Ordoñez, C., 2005, Revista digital universitaria, vol. 5.

**JPG- JPEG (Joint Photographic Experts Group)**

A diferencia del formato anterior este cuenta con una paleta de hasta 16 millones de colores, por lo cual la calidad de la imagen no se ve significativamente afectada, es decir, cualquier pérdida que se haya generado puede pasar desapercibida, de tal manera que este formato reduce el tamaño de la imagen de forma eficiente.

**Figura 8**

*Formato JPG.*



*Nota.* Tomado de Formatos de imagen digital, por Ordoñez, C., 2005, Revista digital universitaria, vol. 5.

**TIF- TIFF (Tagged image file format)**

Este formato permite almacenar imágenes de alta calidad, es el formato idóneo para editar o imprimir una imagen, su inconveniente radica en que genera archivos muy pesados, cuyo formato se observa en la Figura 9.

**Figura 9**

*Formato TIF.*



*Nota.* Tomado de Formatos de imagen digital, por Ordoñez, C., 2005, Revista digital universitaria, vol. 5.

**PNG (Portable Network Graphic)**

Este formato cuenta con las mejores características de GIF y JPG, es decir, tiene una capacidad de compresión mayor a los formatos mencionados y admite una paleta de colores superior a GIF, dado que es un formato nuevo es soportado en navegadores modernos como IE 4, este formato se puede observar en la Figura 10.

**Figura 10**

*Formato PNG.*



*Nota.* Tomado de Formatos de imagen digital, por Ordoñez, C., 2005, Revista digital universitaria, vol. 5.

**Procesamiento Digital de Imagen**

En la actualidad la manipulación de imágenes digitales es un tema de interés ya que es utilizado en varias áreas de estudio dado que a partir de los datos obtenidos de la imagen se puede realizar un análisis, modificación de estos y por último tomar una decisión, con el desarrollo de la tecnología ha incrementado el poder de cómputo, la capacidad de almacenamiento de información por ende el costo de procesamiento se redujo significativamente de tal manera que el desarrollo de esta disciplina se facilitó

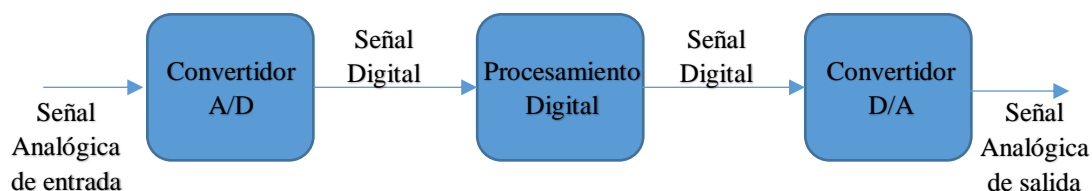
dando lugar a la creación de aplicaciones flexibles y versátiles en el manejo de imágenes digitales (Mejía, 2005).

El procesamiento digital de imágenes es un conjunto de técnicas y métodos aplicados a la imagen en cuestión ya sea para obtener información que simple vista no se logra o mejora la calidad de la misma, para ejecutar este procesamiento se requiere de un computador o microprocesador al que se le denomina procesador ya que en este se realizaran los algoritmos, mismos que ejecutarán las operaciones o transformaciones matemáticas que serán aplicadas sobre la imagen para obtener generalmente una salida numérica, que representa datos, mediciones o información contenida en dicha imagen.

Para obtener la información y datos antes mencionados se requiere pasa por varias etapas de procesamiento para analizar y acondicionar la imagen para posteriormente darle una aplicación específica, en el siguiente diagrama de bloques de la Figura 11, se puede observar el sistema de procesamiento digital de imagen.

**Figura 11**

*Diagrama de Bloques de Procesamiento Digital de Imagen.*



*Nota.* Tomado de Procesamiento digital de imágenes, por Ortiz M., 2013, Universidad autónoma de Puebla. México: Puebla.

## Etapas del Procesamiento Digital de Imágenes

Para realizar la extracción de datos e información de la imagen de estudio, es decir, realizar el procesamiento digital de imagen, es necesario ejecutar cada una de las siguientes etapas:

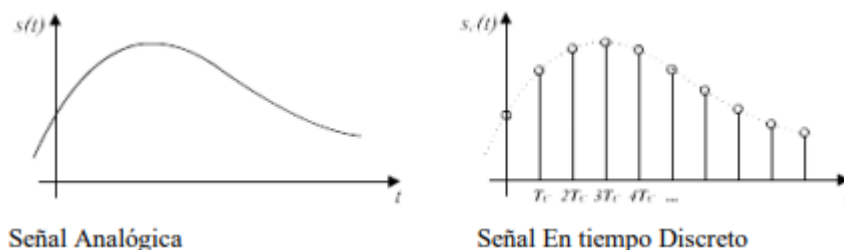
### Muestreo

Por lo general en la entrada de este sistema se presenta una señal de tipo analógico ya que es receptada por sensores, es decir, se tiene una señal continua en el tiempo, misma que debe ser previamente transformada a una señal digital, dicho de otra forma, se debe convertir esta señal de entrada en un conjunto de valores discretos.

El muestreo es la primera fase de conversión análogo- digital, es la digitalización de las coordenadas espaciales, esta fase consiste en tomar muestras o valores de la señal en intervalos de tiempo equidistantes, lo que da como resultado un conjunto finito de datos, Según el teorema de Nyquist- Shannon dice que es necesario que la frecuencia de toma de datos se al menos el doble de la frecuencia máxima de la señal analógica para no perder información y posteriormente lograr recuperar la señal original de forma exacta, para su mejor entendimiento se puede observar en la Figura 12.

**Figura 12**

*Muestreo de una Señal Analógica.*



Nota. Tomado de Procesamiento Digital de Imágenes, por Ortiz M., 2013, Universidad Autónoma de Puebla, México.



### Cuantificación

La cuantificación es la segunda fase de conversión de una señal analógica a digital, la cual digitaliza la amplitud de esta señal de entrada, en esta fase se asigna un valor discreto a cada nivel de las muestras de la señal analógica.

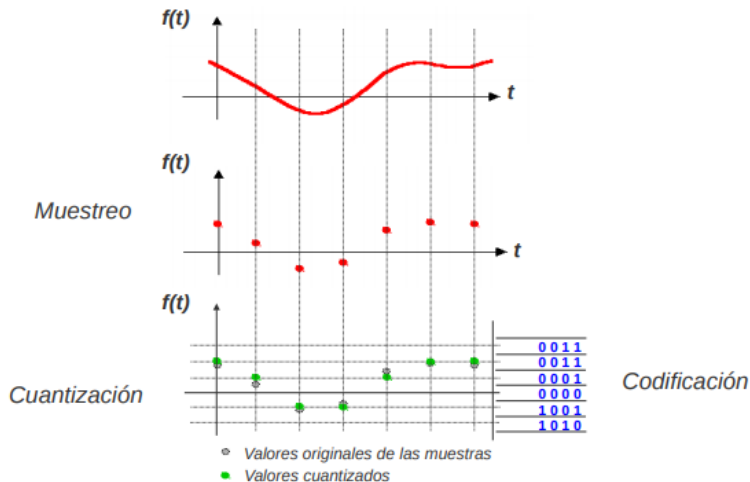
### Codificación

En esta fase se asigna una secuencia de bits a cada valor discreto obtenido en la cuantificación, lo que da lugar a una señal codificada.

En la Figura 13, se observa el proceso de la digitalización de una señal analógica para lo cual el primer paso que se debe considerar es el muestreo de la misma, a continuación, se realiza la cuantización y por último la codificación de la señal.

**Figura 13**

*Proceso de Digitalización de una Señal Analógica.*



*Nota.* Tomado de Procesamiento Digital de Imágenes, por Ortiz M., 2013, Universidad Autónoma de Puebla, México.

## Función de Densidad de Probabilidad PDF

La PDF (Función de densidad de probabilidad) es una función matemática la cual permite observar el comportamiento o la distribución de las variables numéricas de una muestra dada, por ende, se puede determinar la probabilidad de ocurrencia de un valor.

Definiendo la PDF de forma matemática, se puede decir, que esta describe el comportamiento probabilístico de una variable aleatoria, la PDF de una función es representada como se muestra en la ecuación 1.

$$F(x) \text{ ó } F_x \quad (1)$$

Sea  $X$  una variable aleatoria discreta, misma que se encuentre asociada en un espacio probabilístico, donde la función de densidad de probabilidad es definida como se observa en la ecuación 2.

$$F(x): R \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

$$F(x) = P[X \leq x] = \sum_{x_i \leq x} P[X = x_i] = \sum_{x_i \leq x} p_i \quad (3)$$

**Tabla 1.**

*Función de densidad de probabilidad.*

$x_i$	$P[X = x_i] = p_i$	$F(x_i) = F_i$
$x_1$	$p_1$	$F(1) = p_1$
$x_2$	$p_2$	$F(2) = p_1 + p_2$
$x_3$	$p_3$	$F(3) = p_1 + p_2 + p_3$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

## Distribución Normal

Este tipo de distribución también es conocido como distribución de Gauss, permite representar la distribución de los datos de una muestra tomada para

posteriormente realizar comparaciones y obtener conclusiones, esta es la más usada en estadística ya que los datos de varios estudios reales adoptan esta forma, su función matemática está dada por la ecuación 4.

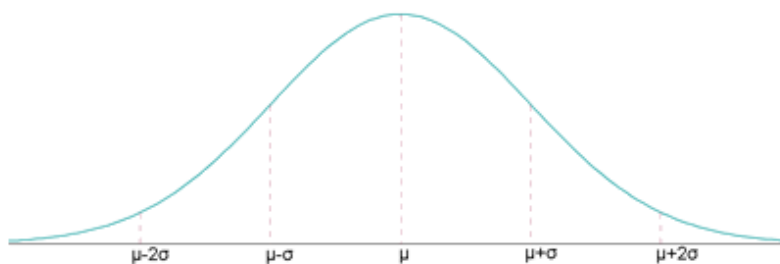
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (4)$$

Esta distribución se identifica porque su grafica adquiere una forma de campana simétrica o también conocida como campana de Gauss como se puede observar en la Figura 14, Esta distribución presenta las siguientes características:

- La distribución de los datos existe en cualquier valor real, es decir, que puede encontrarse en el intervalo  $(-\infty, +\infty)$ .
- En la Figura 14, se puede verificar que es simétrica a la media  $\mu$ .
- El máximo valor se encuentra en la media  $\mu$ , es decir, es creciente hasta llegar a la media y decrece a partir de ella.
- El área bajo la curva es igual a la unidad, es decir, que al ser simétrica e área hacia la izquierda es igual a 0.5 al igual que el lado de la derecha.
- Su media  $\mu = 0$  y su desviación estándar es  $\sigma = 1$ .

**Figura 14**

*Distribución Normal.*



Nota. Tomada de Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos, por Canavos G., 1988, España: Madrid, McGraw-Hill.

### Distribución Exponencial

Se considera que la distribución exponencial es un caso particular de la distribución Gamma donde el parámetro  $k = 1$ , esta es una distribución de probabilidad continua cuyo parámetro  $\lambda > 0$ , donde  $\lambda$  es la cantidad media de ocurrencia del suceso de estudio por unidad de tiempo, su función de densidad se observa en la ecuación 5.

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{para otro caso} \end{cases} \quad (5)$$

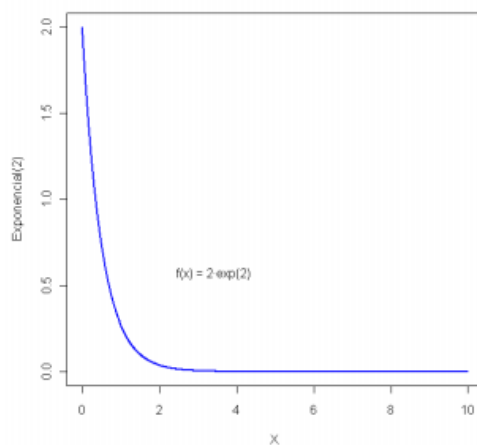
Su función de distribución es:

$$F(x) = P(X \leq x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Por lo general este tipo de distribución describe eventos en los que se analiza el tiempo hasta que se da un suceso que ocurren independientemente, La gráfica de la distribución exponencial se puede observar en la Figura 15.

**Figura 15**

*Distribución Exponencial.*



Nota. Tomada de Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos, por Canavos G., 1988, España: Madrid, McGraw-Hill.

Las propiedades de esta distribución son:

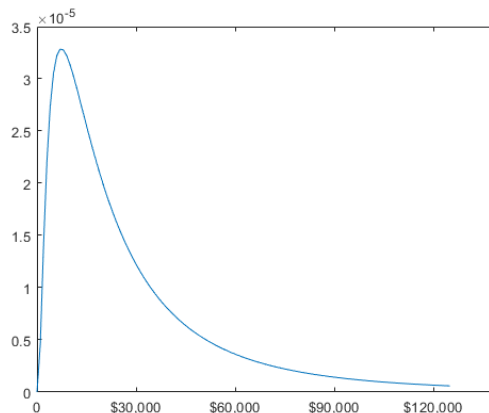
- La media  $E(x) = \frac{1}{\lambda}$
- La varianza  $var(x) = \frac{1}{\lambda^2}$

### **Distribución Log- normal**

Este tipo de distribución es utilizada si el logaritmo de la variable aleatoria está distribuido normalmente, estas variables deben ser mayor que cero, esta es una distribución continua que se encuentra definida por sus parámetros de ubicación y escala, la forma de su gráfica se logra observar en la Figura 16.

**Figura 16**

*Distribución Log- Normal.*



Nota. Tomada de Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos, por Canavos G., 1988, España: Madrid, McGraw-Hill.

Dicho de otra forma, la distribución log- normal es una probabilidad que se usa generalmente para denotar el comportamiento de los datos o variables observados con una asimetría positiva, existe mayor frecuencia en valores pequeños.

Su función de distribución está determinada por la ecuación 7.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{\sigma^2}} & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (7)$$

Donde sus parámetros están determinados por la media  $\mu$  y la desviación estándar  $\sigma$  se observan en la ecuación 8 y 9 respectivamente.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{i=1}^n \ln(x_i)^2 - n\mu^2 \right\} \quad (9)$$

### Distribución de Weibull

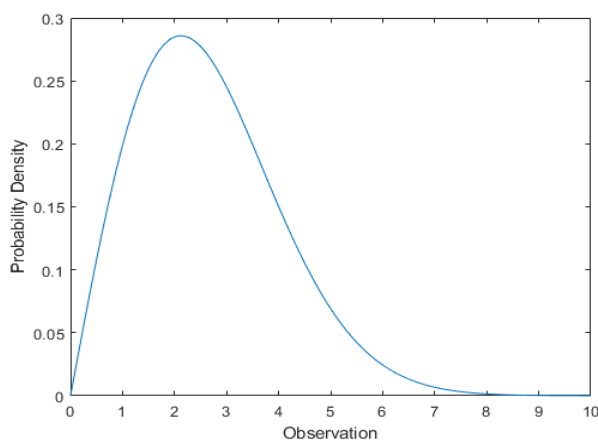
Este tipo de distribución es comúnmente utilizada para realizar estudios de fiabilidad o fallo, esta distribución se encuentra en función de dos parámetros, los cuales son  $\alpha$  que es el parámetro de escala y  $\beta$  es el parámetro de forma, este es únicamente para modelar el comportamiento de variables positivas, su distribución de densidad de probabilidad está dado por la ecuación 10.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} \quad (10)$$

Dependiendo de los valores que tengan sus parámetros, la distribución de Weibull puede adoptar diferentes formas, es decir, si el parámetro de forma  $\beta = 1$  esta distribución adoptará la forma de la distribución exponencial donde la tasa de fallos será constante, mientras que si  $\beta > 1$  la tasa será creciente y por ultimo si  $\beta < 1$  se dará un fallo decreciente, La estimación de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  están dados por las ecuaciones 11 y 12 respectivamente, su curva característica se observa en la Figura 17.

#### Figura 17

*Distribución de Weibull.*



*Nota.* Tomada de Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos, por Canavos G., 1988, España: Madrid, McGraw-Hill.

$$\alpha = \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i^\beta}{n} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{n}{\left( \frac{1}{\alpha} \right) \sum_{i=1}^n x_i^\beta \log(x_i) - \sum_{i=1}^n \log(x_i)} \quad (12)$$

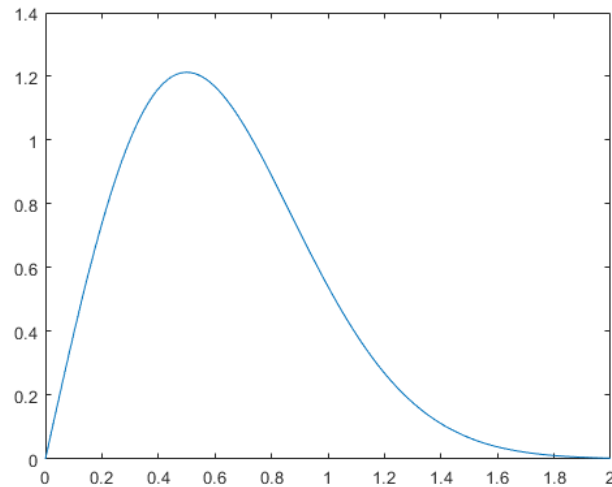
### Distribución de Rayleigh

Esta distribución es generalmente usada para modelar la velocidad del viento ya que es una función de distribución continua, su función de distribución depende de un parámetro  $\alpha$  el cual determina la escala, la forma de su gráfica es sesgada positiva como se observa en la Figura 18.

**Figura 18**

*Distribución de Rayleigh.*





*Nota.* Tomada de Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos, por Canavos G., 1988, España: Madrid, McGraw-Hill.

Se dice que esta distribución es un caso especial de la distribución de Weibull, dado que su parámetro de forma es  $\beta = 2$ , su función de densidad de probabilidad se encuentra dada por la ecuación 13.

$$f(x) = \frac{x}{\alpha^2} e\left(-\frac{x^2}{2\alpha^2}\right) \quad (13)$$

Donde el parámetro  $\alpha$  de escala está dado por la ecuación 14.

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (14)$$

### **Divergencia de Kullback- Leibler**

La divergencia de Kullback- Leibler es una herramienta estadística que permite medir la diferencia que existe entre dos distribuciones de probabilidad, siendo una de ellas la distribución de referencia, por ello esta es considerada como la entropía relativa (Torres, 2012).

Mientras el valor de la entropía sea más cercano a cero significa que ambas distribuciones de estudio son idénticas.

La entropía relativa entre dos distribuciones  $p(x)$  y  $q(x)$  está dada por la ecuación 15.

$$D(p \parallel q) = \sum_{i=1}^n p(x_i) \log \left( \frac{p(x_i)}{q(x_i)} \right) \quad (15)$$

$$D(p \parallel q) = E_p \left[ \log \left( \frac{p(x)}{q(x)} \right) \right] \quad (16)$$

Donde:

$$D(p \parallel q) \geq 0 \quad (17)$$

$$D(p \parallel q) = 0 \Leftrightarrow p(x_i) = q(x_i) \quad (18)$$

### Parámetros de Calidad de la Imagen

Dado que las imágenes digitales están expuestas a manipulación y transmisión, se ven afectadas en calidad, es decir, posterior a estos procesos la imagen puede presentar distorsiones, más aún cuando se ha aplicado diferentes algoritmos para incrustar información de la imagen secreta y generar una imagen mosaico la cual sea lo más parecida posible a la imagen portadora, misma que ha sido transmitida y finalmente a partir de esta generar la imagen original, es indispensable medir la calidad de la imagen que se ha receptado (Pedro, Pinto & Toscano, 2017).

Para este análisis se considerarán dos medidas estandarizadas, las cuales requieren de una señal de referencia, en este caso se cuenta con la imagen original para ser comparada con la imagen recuperada por el receptor.

**RMSE (Root Mean Squared Error)**

Este parámetro estadístico denominado como la raíz del error cuadrático medio indica el error que existe entre dos conjuntos de datos, es decir, los datos de la imagen de referencia y los datos de la imagen recibida, como su nombre lo dice, este parámetro resulta del cálculo de la raíz cuadrada del promedio de los errores al cuadrado, por lo cual mientras menor sea este valor significa que existe mayor similitud entre las imágenes.

**SSIM**

Esta métrica se encarga de comparar dos imágenes que a simple vista se ven similares, sin embargo, este refleja un valor entre 1 y -1, siendo los más cercanos a 1 cuando la imagen presenta mayor similitud entre las dos imágenes.

El índice de similitud estructural se basa en tres parámetros de la imagen que son la luminancia, contraste y estructura, por ello se dice que esta métrica realiza un análisis más completo a comparación del índice RMSE (Prieto, 2017).

## Capítulo III

### Implementación del Algoritmo

#### Descripción General del Programa

El diseño de este algoritmo se basa en la técnica aplicada en (Acosta, 2017), en este caso el flujo de bits generado a partir de la imagen mosaico será reducido mediante la obtención de la PDF de los datos del parámetro estadístico media, para ello en Figura 19 se observa el diagrama de bloques del programa, los cuales serán explicados posteriormente.

La técnica de imagen mosaico en la actualidad es de gran uso, ya que permite la ocultación de la información de una imagen secreta en una imagen portadora, dado que el ancho de banda es un recurso limitado al momento de realizar transmisiones simultáneas a través de un solo flujo de datos, la técnica que se emplea en (Acosta, 2017) reduce el flujo de bits que son requeridos para recuperar la imagen secreta en la recepción, obteniendo un resultado de reducción de 3 a 1.

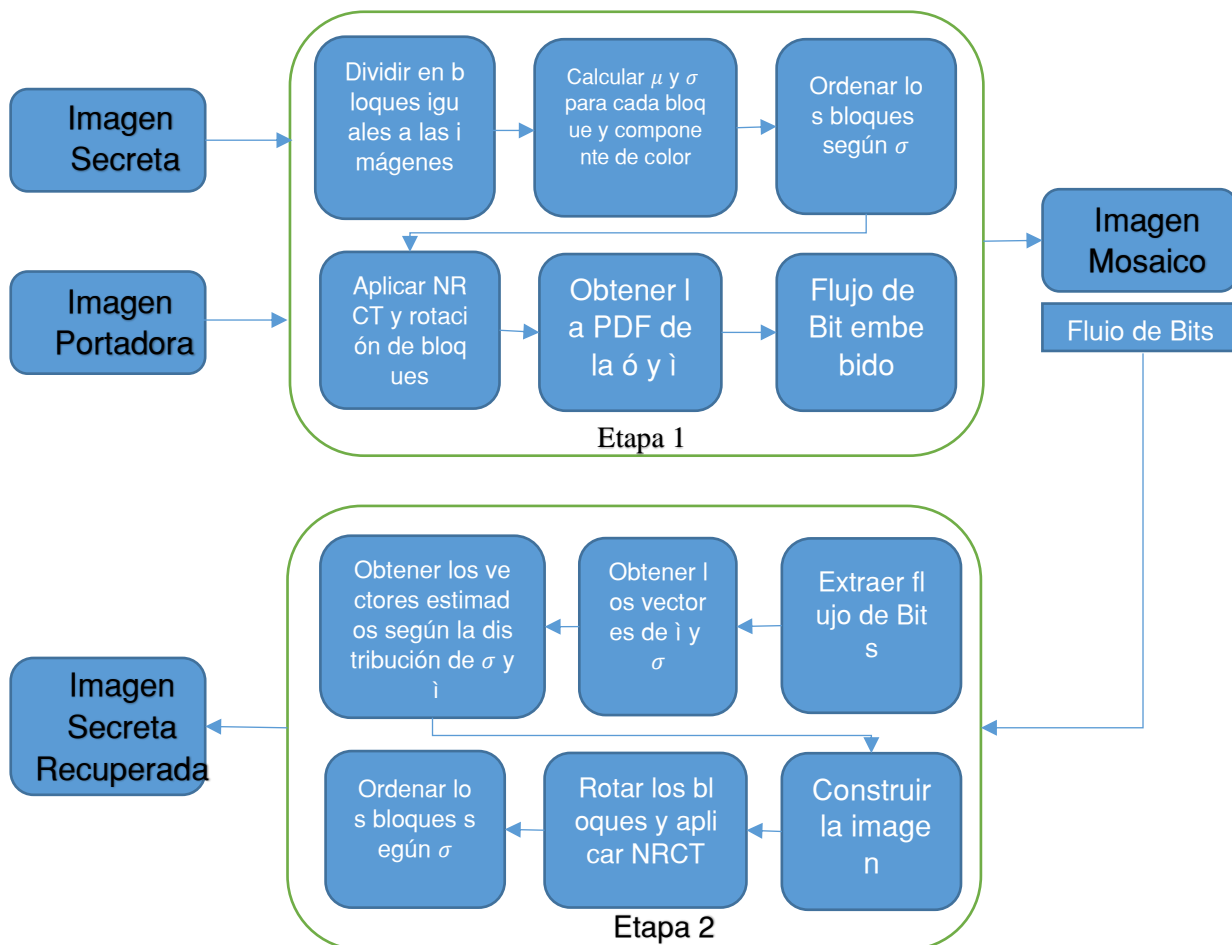
Para la obtención de resultado de reducción de la cantidad de bits antes mencionado en (Acosta, 2017) se realiza un análisis estadístico para obtener la desviación estándar de la imagen de interés, es este caso, se la denomina imagen secreta, a partir de los datos de la desviación estándar se desarrolla un algoritmo que permita obtener la PDF con la distribución de probabilidad que mejor se ajuste a su histograma, para este estudio se determinó que la distribución Lognormal fue aquella que mejor se adaptó al histograma en cuestión y en las pruebas realizadas se evidenció que la desviación estándar siempre tendía a adquirir la forma de una distribución de probabilidad Lognormal.

Adicional al proceso realizado anteriormente, en este trabajo de investigación se implementó un algoritmo que permita obtener la PDF de los datos del parámetro estadístico media de la imagen mosaico, en este caso, se evidenció que los histogramas generados por los datos de la media no seguían una misma tendencia en cada una de las pruebas realizadas, por ello, se realizó un algoritmo de toma de decisión para seleccionar la distribución de probabilidad que mejor se ajuste al histograma en cuestión, para lo cual se realizó una comparación con ayuda de la teoría de la divergencia de Kullback- Leibler, la cual permite conocer la distancia que existe entre dos funciones de distribución siendo una de ellas la referencia, mientras menor sea este valor, menor distancia existirá entre ambas distribuciones, dicho de otra manera, la distribución que mejor se ajuste al histograma de estudio es la que menor valor presente en este parámetro también denominado como entropía relativa (Torres, 2012).

La Figura 19 presenta el diagrama de bloques del programa, inicialmente se debe realizar una selección de la imagen secreta y la imagen portadora, a partir de ello se tiene dos etapas, la primera permite la generación de la imagen mosaico utilizando el método NRCT (Transformación de Colores Casi Reversible), cuyo método se fundamenta en el trabajo desarrollado en (Lee & Tsai, 2014) y la segunda etapa consiste en la recuperación de la imagen secreta a partir de la imagen mosaico y el flujo de bits transmitidos.

Figura 19

Diagrama de Bloques de Programa.



### Etapa 1: Creación de la Imagen Mosaico

Este algoritmo inicia solicitando al usuario que ingrese el nombre de dos imágenes una de ellas será la imagen secreta denominada  $S$  y la otra será la imagen portadora denominada  $P$ , estas imágenes serán tomadas de una base de datos de 20 imágenes a las que se les denominó con números del 1 al 20 para facilitar la validación del ingreso de datos.

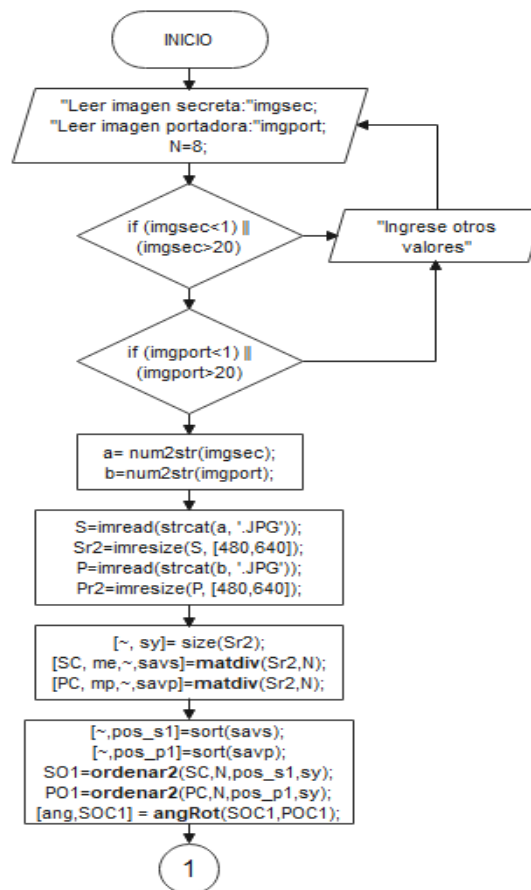
Con las imágenes ingresadas se procede a realizar el ajuste de tamaño de estas, el tamaño que se consideró es de  $640 \times 480$  ya que son números divisibles para

4,5 y 8, en este caso se considerará un  $N = 8$  los cuales determinaran los pixeles o el tamaño del bloque que se utilizarán para la creación de la imagen mosaico.

El siguiente paso fue dividir ambas imágenes en bloques iguales, los cuales por motivos de prueba son de 8x8 pixeles de los cuales se obtienen los parámetros estadísticos media y desviación estándar, para ello se hizo uso de la función denominada “matdiv”, cuyo algoritmo se explica más adelante, posteriormente se ordena de menor a mayor los bloques de cada imagen de acuerdo a la desviación estándar con la ayuda de la función “ordenar2” que se explicará en el siguiente apartado, con las imágenes ordenadas nuevamente se aplica la función “matdiv” con la cual se obtendrá los nuevos bloques y los parámetros media y desviación estándar de cada uno de ellos, con las imágenes generadas denominadas  $P_{sort}$  y  $S_{sort}$  se procede a rotar cada bloque, siendo cuatro los ángulos de rotación ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $360^\circ$ ) lo cual da resultado a la imagen denominada  $SOC1$ , esto se realiza con ayuda de la función “angRot” explicada en el apartado siguiente, como se observa en la Figura 20.

#### **Figura 20**

*Diagrama de Flujo para crear la Imagen Mosaico.*



Nota. Diagrama de flujo para la creación de la imagen mosaico parte 1.

Con los datos de la desviación estándar y media obtenidos en la función “matdiv”, se desglosa en tres vectores los cuales hacen referencia a los tres componentes de color de la imagen RGB, es decir, cada vector tiene los datos de la media o desviación estándar de los componentes RED, GREEN y BLUE de la imagen secreta, a cada uno de estos vectores se les condicionó para que sus datos sean diferentes de cero, de tal manera, que no se produzcan errores al momento de calcular el coeficiente de desviación estándar  $q_1$ , dándoles un valor de 0.1, con ello se procede a calcular el coeficiente de desviación estándar determinado en la ecuación 19, cuyo dato es necesario para aplicar la técnica de NRCT (Técnica de Transferencia de Color).



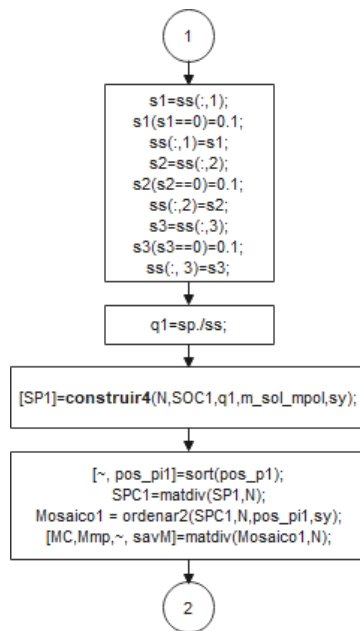
$$q1 = \frac{\sigma_{P_{sort}}}{\sigma_{S_{sort}}} \quad (19)$$

Donde  $\sigma_{P_{sort}}$  y  $\sigma_{S_{sort}}$ , son los valores de la desviación estándar de la imagen portadora y la imagen secreta respectivamente, con el valor del coeficiente de desviación estándar se aplica la función “Construir4” de la cual se da mayor detalle en la siguiente sección. con la que se lleva a cabo la conversión de color de cada uno de los pixeles de la imagen *SOC1* obtenida anteriormente, generando la imagen *SP1*.

A continuación, se organiza la imagen mosaico a ser transmitida, para lo cual se ordena los datos de la posición de la desviación estándar de la imagen portadora con la función de Matlab “sort”, adicionalmente se divide en bloques la imagen *SP1* con la función “matdiv”, de la cual se obtiene la media y desviación estándar de cada uno de sus bloques, con estos datos se aplica la función “ordenar2”, para organizar los bloques según la información de la imagen portadora para generar la imagen mosaico denominada *Mosaico1* la cual será enviada, como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 21.

### Figura 21

*Diagrama de Flujo para crear la Imagen Mosaico.*



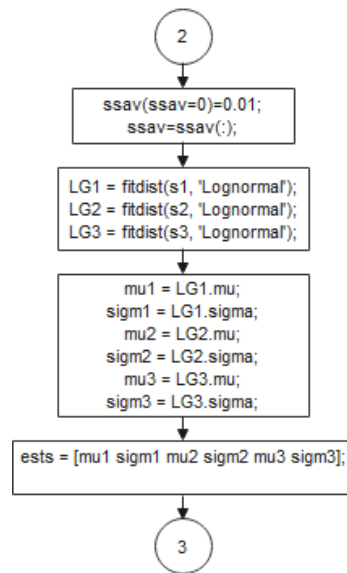
Nota. Diagrama de flujo para la creación de la imagen mosaico parte 2.

### Obtención de la PDF de la Desviación Estándar

En el estudio (Acosta, 2017), se determinó que el histograma de la desviación estándar tenía un mejor ajuste con la distribución de probabilidad Lognormal, Para obtener los parámetros de esta distribución se utilizó el comando de Matlab “fitdist”, con la distribución antes mencionada, para cada uno de los tres vectores que contienen los datos de la desviación estándar de la imagen secreta en sus tres componentes RGB, como se observa en la Figura 22.

**Figura 22**

*Diagrama de Flujo para crear la Imagen Mosaico.*



*Nota.* Diagrama de flujo para la creación de la imagen mosaico parte 3, obtención de la PDF de la desviación estándar.

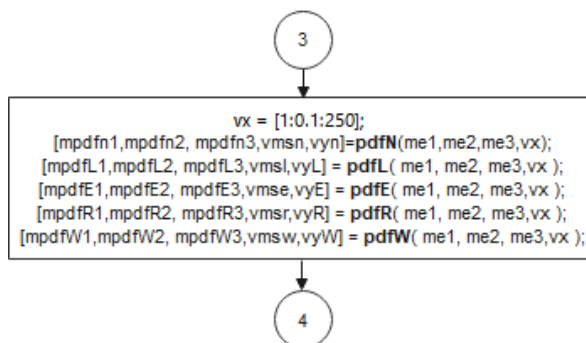
### Obtención de la PDF de la Media

Para la obtención de la PDF de la media, se observó que los histogramas generados por este dato varían de acuerdo a las imágenes seleccionadas, es decir, no siempre se ajusta con una misma distribución de probabilidad, por ello, se implementó 5 funciones que permiten obtener la función de distribución y sus parámetros, las distribuciones con las que se realizó el trabajo de investigación fueron la distribución Normal, Lognormal, Exponencial, Weibull y Rayleigh, estas funciones fueron nombradas como “pdfN, pdfL, pdfE, pdfW y pdfR” respectivamente.

Los datos de entrada para cada una de estas funciones serán los vectores con los datos de la media de cada componentes de color de la imagen secreta y un vector llamado  $vx$ , cuyo rango se encuentra de (1 – 250), dado que el histograma de las medias está determinado por este rango en el eje de las x, como se puede observar en el diagrama de flujo de la Figura 23.

Figura 23

Diagrama de Flujo para obtener la PDF de la Media.



Nota. Diagrama de flujo para la creación de la imagen mosaico parte 4, obtención de la PDF a partir de los datos de la media.

Dentro de cada función se aplicará el comando “fitdist” con cada una de las distribuciones, con el cual se obtiene los datos en del eje y, para la obtención de la PDF se utilizó el comando “pdf” el cual permite asociar los datos generados por “fitdist” con el vector  $vx$ , adicional se obtienen los parámetros de cada distribución, los cuales se deben tomar muy en cuenta en la Tabla 2 ya que no todas las distribuciones presentan los mismos parámetros.

Tabla 2.

Distribuciones de probabilidad y sus parámetros.

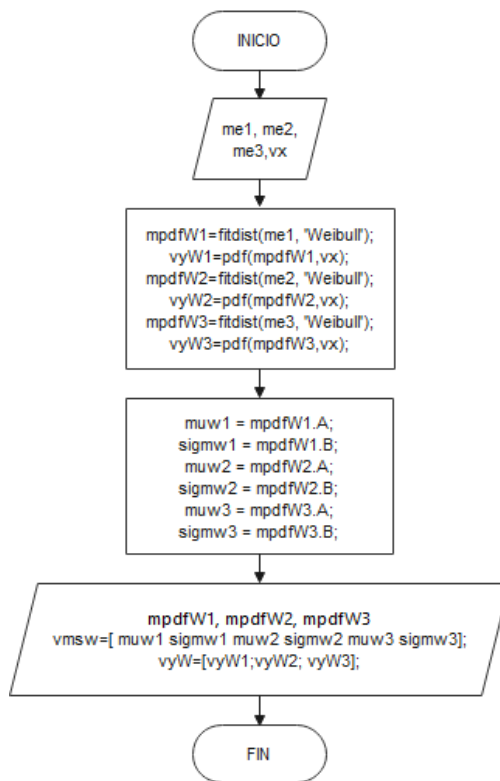
DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	PARÁMETROS	
	<b>a</b>	<b>B</b>
Normal	$\mu$	$\sigma$
Lognormal	$\mu$	$\sigma$
Exponencial	$\mu$	-
Weibull	$\alpha$	$\beta$
Rayleigh	-	$\beta$

Finalmente se presentan los valores de los parámetros de la distribución y las PDF de las medias de cada componente de color RGB en forma de vectores.

En la Figura 24, se representa el diagrama de flujo de una de las funciones para obtener la PDF de las medias, se consideró la función “pdfW”.

**Figura 24**

*Diagrama de Flujo para la obtención de la PDF de la media.*



*Nota.* Diagrama de flujo para la obtención de la PDF de la media con la distribución de Weibull.

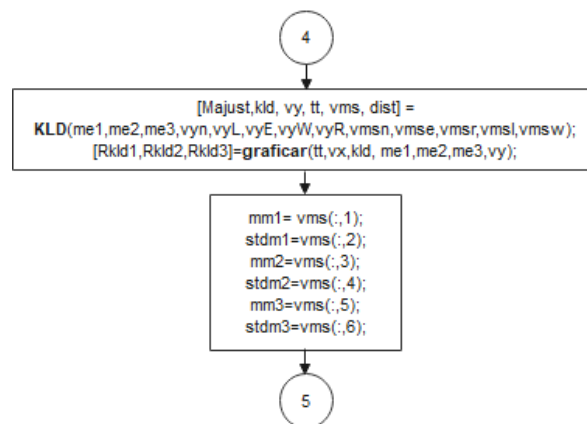
### **Divergencia de Kullback- Leibler**

Para determinar que distribución de probabilidad es la que mejor se ajusta al histograma generado por los datos de la media, se utilizó la teoría de divergencia de Kullback- Leibler, la cual permite saber la distancia que existe entre dos distribuciones,

en este caso se realizará la comparación de los datos originales de la media con respecto a las PDF's obtenidas en la sección anterior, para ello se implementó la función "KLD" en la que se ingresaran los 3 vectores de la media, el vector que contiene las PDF's en sus tres componentes de cada distribución y el vector que contiene los parámetros de cada distribución de probabilidad.

**Figura 25**

Distribución de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler



A continuación, se descompone los vectores de las PDF's de cada distribución en sus tres componentes, posteriormente se aplica la ecuación 20, la cual permite obtener la distancia entre los datos originales y cada una de las distribuciones.

$$kld1 = 0.1 \left( \sum_{i=1}^n me1_i \log \frac{me1_i}{PDF1_i} \right)$$

$$kld2 = 0.1 \left( \sum_{i=1}^n me2_i \log \frac{me2_i}{PDF2_i} \right)$$

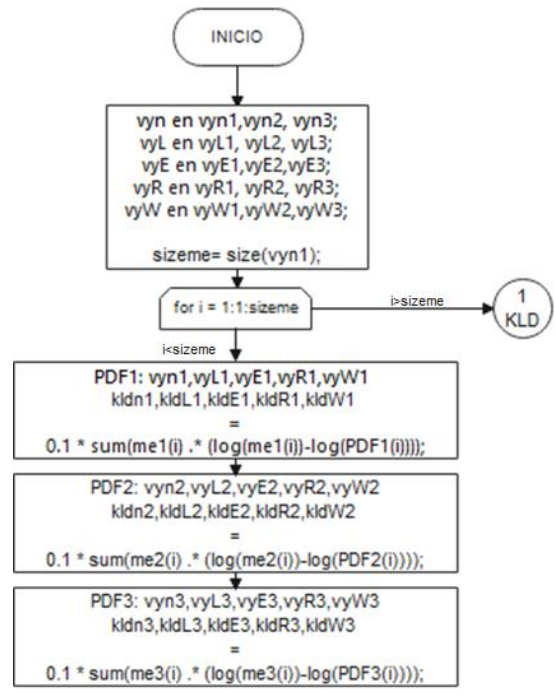
$$kld3 = 0.1 \left( \sum_{i=1}^n me3_i \log \frac{me3_i}{PDF3_i} \right) \quad (20)$$

Donde  $kld1$ ,  $kld2$ ,  $kld3$ , representan la distancia entre las distribuciones en sus componentes RED, GREEN, BLUE respectivamente,  $me$  es el vector de la media y  $PDF$  representa la PDF con la que se requiere realizar el cálculo.

Una vez obtenido estas tres distancia, se guardan en un vector del cual se obtiene el promedio con el comando “mean”, de tal manera que se generan 5 distancias una por cada distribución, para disminuir el tiempo de computo del algoritmo, se almacenaron las 5 distancias en un vector al mismo que se le aplicó el comando “min” para obtener el dato menor, por ende se obtuvo, la distancia menor y por último se realizó una comparación entre el dato menor y cada una de las distancias para revelar cuál de las distribuciones se ajustó mejor al histograma en cuestión y de esta forma presentar en su salida el vector de la PDF de mejor ajuste, el vector de sus parámetros, la distancia, el nombre de la distribución y adicionalmente un numero binario el cual permitirá reconocer el tipo de distribución en la etapa de la recepción, en la Figura 26 y Figura 27 se detalla el diagrama de flujo de la función “KLD”.

#### **Figura 26**

*Diagrama de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler*

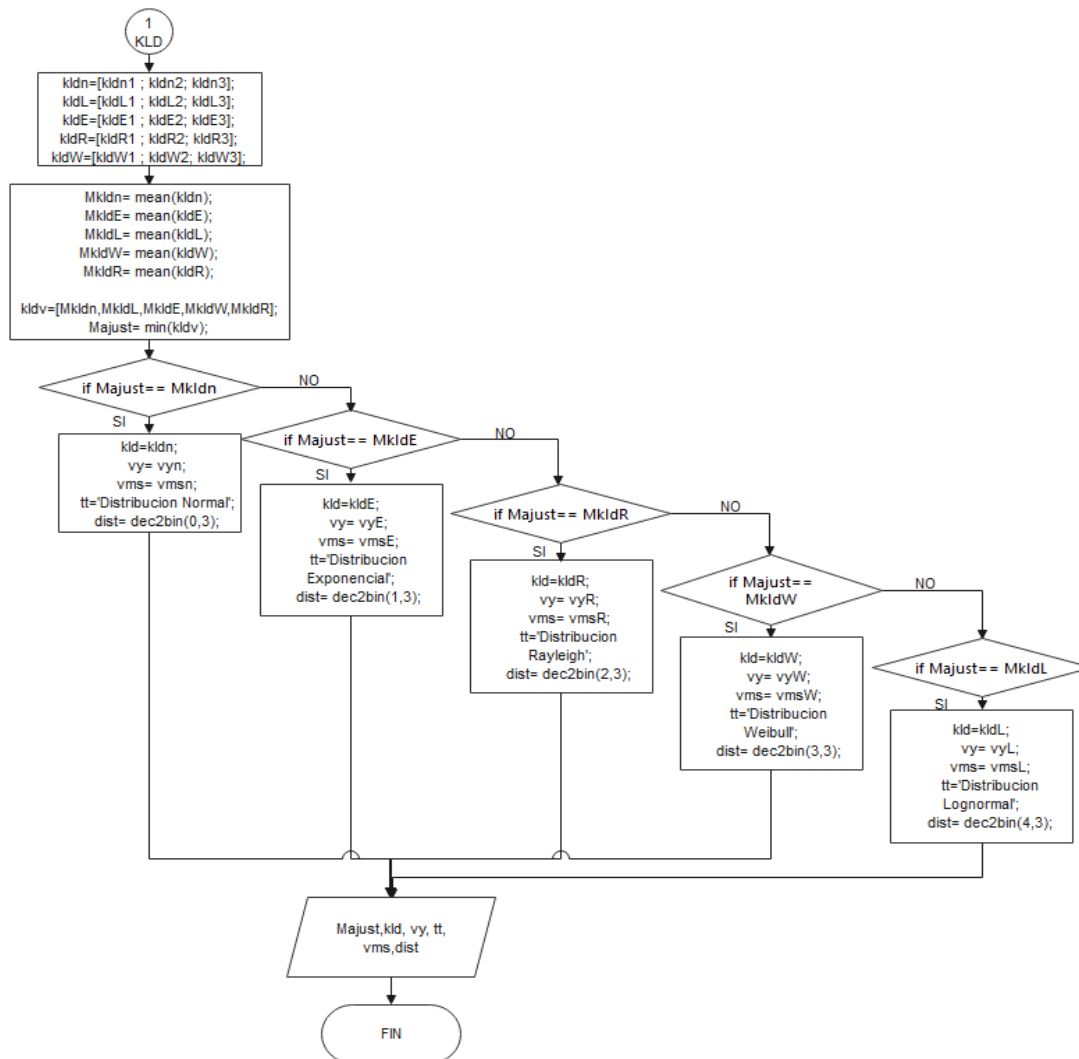


Nota. Datos a ingresar para calcular la divergencia de Kullback Leibler y datos que se obtendrán.



Figura 27

Diagrama de Flujo para obtener la Divergencia de Kullback- Leibler



Nota. Obtención de la divergencia de Kullback Leibler entre los datos originales de la media y los datos generados por cada una de las distribuciones de probabilidad.

Con los datos de interés se procede a realizar la graficas del histograma de las medias y la PDF de mejor ajuste para cada una de las componentes de la imagen RGB.

## Bit Stream

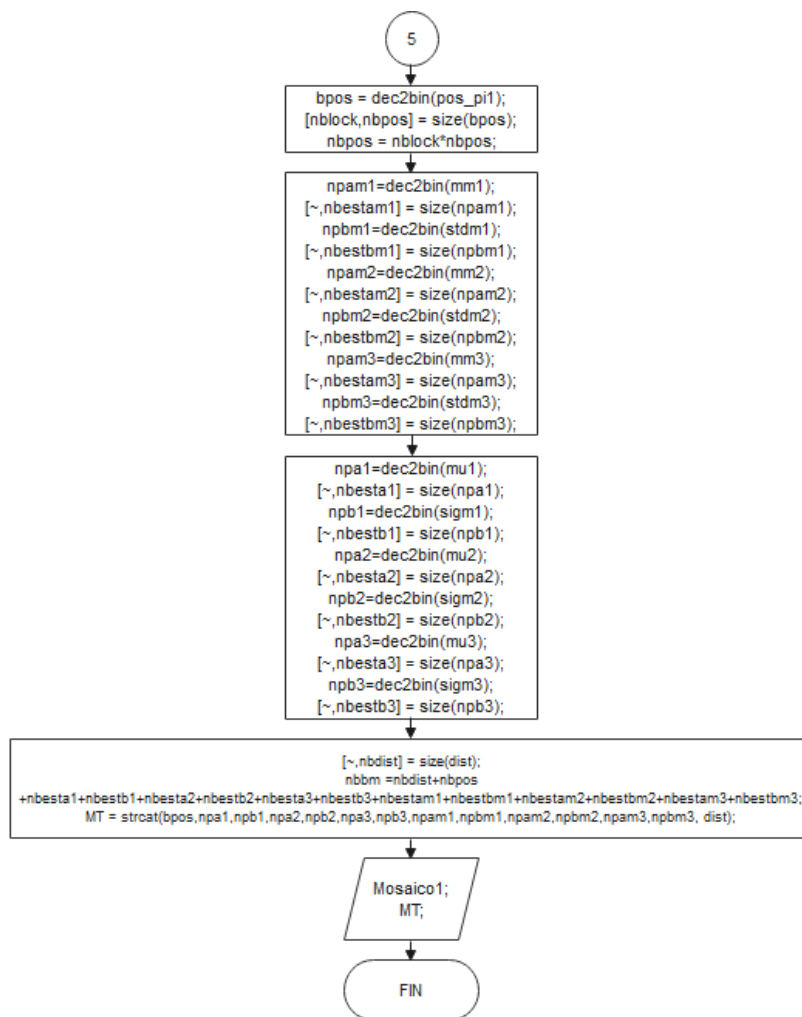
Dado que en el trabajo (Acosta, 2017) se aplica esta técnica para TV- Digital el flujo de bits es embebido en la imagen mosaico para su posterior recuperación, sin embargo, en el presente trabajo de titulación el flujo de bits permitirá realizar una comparación con el obtenido en (Acosta, 2017) para verificar si el algoritmo implementado logró ser reducido, adicionalmente comprobar que la calidad de la imagen secreta recuperada sea legible.

En la figura 28, se puede observar el diagrama de flujo del algoritmo que permitió obtener el flujo de bits y la cantidad de bits generada, los datos a ser embebidos en la imagen mosaico son los índices de posición, la PDF de la media y la PDF de la desviación estándar, dado que se tienen datos decimales se realizó una conversión de decimal a binario con la ayuda del comando de Matlab “dec2bin”, una vez obtenido estos datos en binario se procedió a calcular su tamaño con el comando “size” para sumar todos los tamaños, sin olvidar calcular el tamaño del indicador del tipo de distribución, de tal manera que se obtuvo la cantidad total de bits a transmitir.

Por último, se realiza la concatenación de todos los datos previamente convertidos en binarios.

### Figura 28

*Diagrama de Flujo para concatenar el bit stream.*

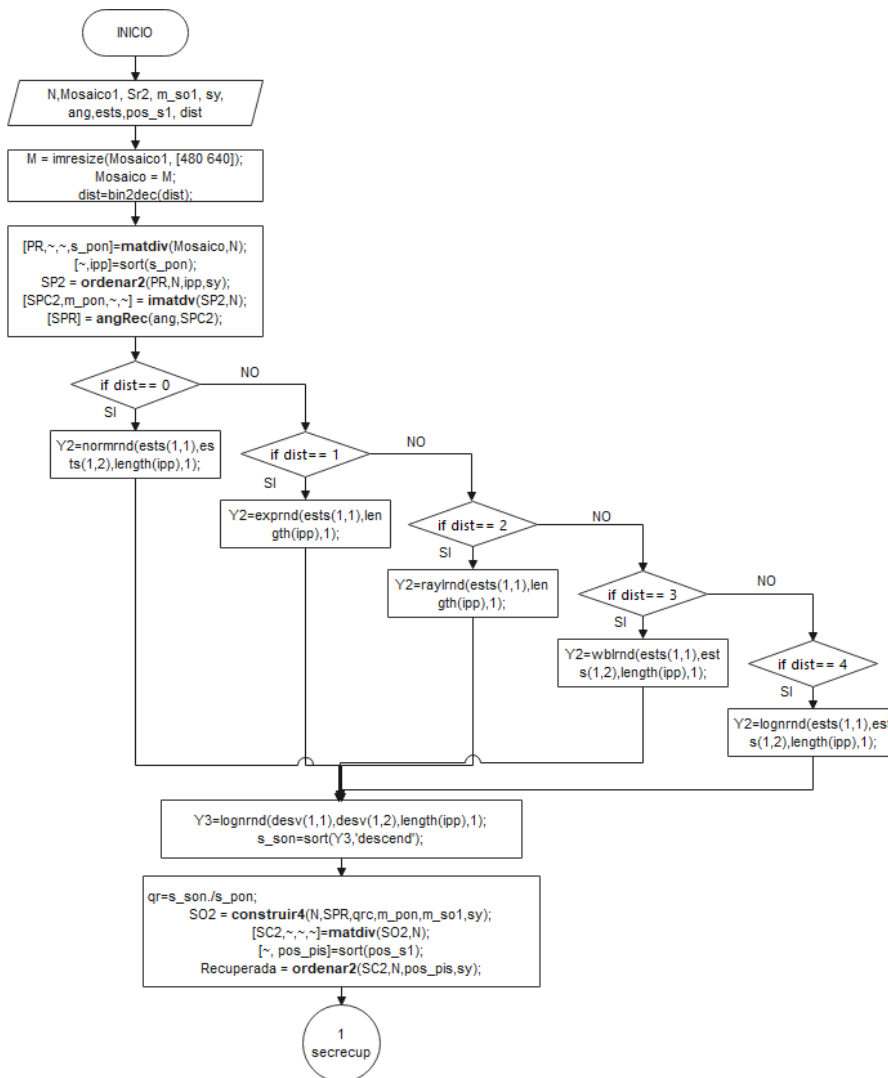


## Etapa 2: Recuperación de la Imagen Secreta

A partir de los datos generados en las secciones anteriores, se aplicó la función “secrecup”, cuyo algoritmo permite la recuperación de la imagen secreta, en primer lugar, se transforma de binario a decimal el dato dist que contiene información acerca de qué tipo de distribución corresponde.

Figura 29

Diagrama de Flujo para la Recuperación de la IRecumagen Secreta.



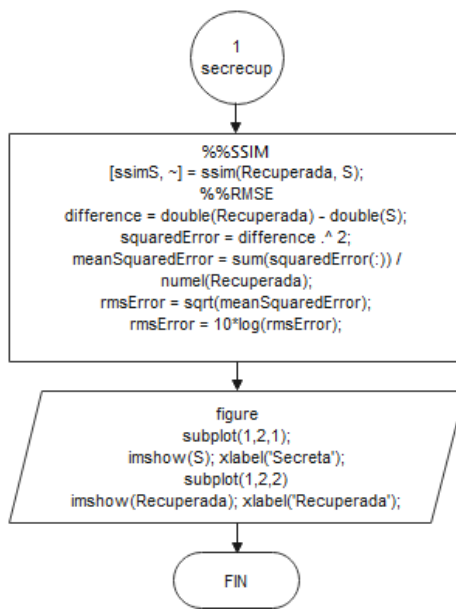
A continuación, se obtuvo los valores de la desviación estándar y media de la imagen mosaico enviada y se ordena los datos de la desviación estándar, con los datos obtenidos se aplica la función “ordenar2” de tal manera que los bloques se ordenan de menor a mayor de acuerdo a la desviación estándar, se obtiene nuevamente los parámetros de desviación estándar y media de la nueva imagen ya ordenada y se procede a rotar los bloques de forma inversa a los ángulos que se rotaron inicialmente con la función “angRec” descrita a continuación.

Se implementó el algoritmo que permita generar valores aleatorios que correspondan a la media de acuerdo a la distribución con la cual se ajustó mejor, en el siguiente apartado, se realizó un proceso similar para la obtención de los datos de la desviación estándar a partir de la distribución Lognormal propuesta en (Acosta, 2017), estos permitirán obtener el cociente entre desviaciones estándar, cuyo valor es utilizado para encontrar el valor de cada pixel de la imagen recuperada aplicando la función “construir4”, como se observa en la Figura 29.

En la Figura 30, se observa el diagrama de flujo del algoritmo que se encarga de obtener los parámetros estadísticos MSSI (Índice de Similitud Estructural) y RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio), los cuales permiten realizar una comparación entre la imagen recuperada y la imagen secreta original.

**Figura 30**

*Diagrama de Flujo para obtener el MSSI y RMSE.*



## Funciones de Apoyo

Para el desarrollo del algoritmo fue necesario la implementación de 5 funciones las cuales son reutilizadas a lo largo del programa, estas fueron creadas con la finalidad de reducir líneas de código, simplificar el algoritmo y hacerlo inteligible.

## Matdiv

Esta función permite obtener la división de la imagen en bloques, los cuales se encuentran definidos por "N", una vez obtenidos los bloques se genera una matriz en la que se los almacena, adicionalmente se obtiene la media y la desviación estándar de cada uno de los bloques, para ello, es necesario presentar en su entrada la imagen, el tamaño de sus ejes y el número en que se dividirá la imagen, a su salida se obtendrá una matriz de bloques, la media y la desviación estándar.

**Figura 31**

*Imágenes obtenidas con la Función Matdiv.*



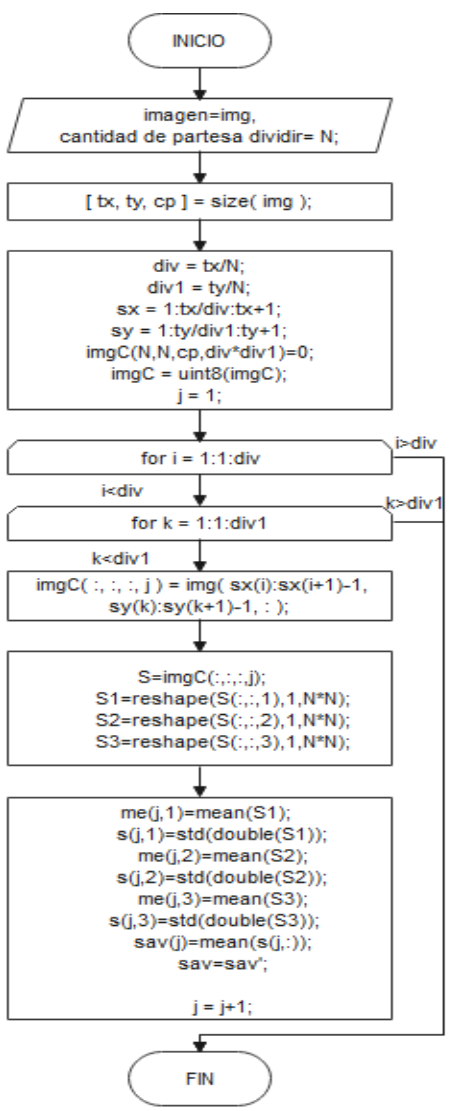
*Nota.* Imágenes generadas por la función Matdiv con  $N=8$ .

Para la implementación de la función "matdiv" se siguió el algoritmo del diagrama de flujo mostrado en la figura 32, en el cual se observa que ingresan dos

parámetros la imagen y el valor de N, mismo que es el valor para el cual se dividirán los ejes de la imagen, por lo tanto, es necesario obtener el tamaño de la imagen de los ejes x e y los cuales serán divididos para N, el resultado de esta división será el límite de los bucles de for anidado, en los que se logrará formar los bloques de la imagen adicional se calculará la media y la desviación estándar de cada uno de ellos.

Figura 32

Diagrama de Flujo de la Función Matdiv



## Ordenar2

El objetivo de esta función es ordenar los bloques de la imagen de forma descendente según el valor de desviación estándar de cada bloque, dado que la desviación estándar representa la cantidad de información que contiene cada bloque, estos se ubicaran de menor a mayor cantidad de información contenida, para la implementación de la función se requiere como entra, la matriz de bloques de la imagen, el número en que divide la imagen "N", los índices de posición de la desviación estándar ya ordenada de forma descendente y el tamaño de la imagen en el eje finalmente a su salida presenta una matriz con los bloques ya ordenados.

### Figura 33

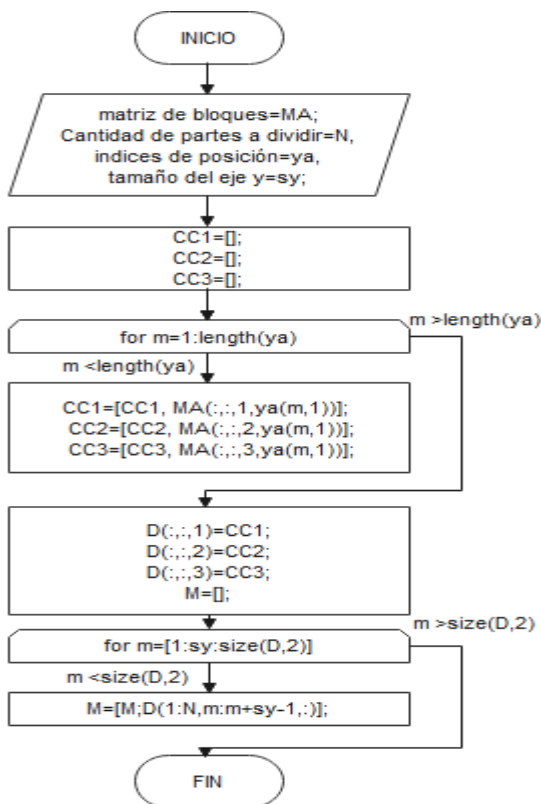
*Imagen obtenida con la Función Ordenar2.*





Figura 34

Diagrama de Flujo de la Función Ordenar2.



Para ejecutar esta función, se ingresaron los siguientes parámetros, la matriz de bloques de la imagen, el valor de N, los índices de posición ya ordenador de forma descendente de la desviación estándar de los bloques de la imagen y el tamaño del eje y de la imagen, a continuación se crearán tres matrices denominadas  $C1$ ,  $C2$  y  $C3$  las cuales permitirán organizar los componentes de color de la matriz de bloques de la imagen, es decir, se obtendrán matrices de los componentes R, G y B en las mismas en las que se irán ubicando cada bloque que corresponde a la posición indicada por el vector  $ya$ , posteriormente se procede a reorganizar las tres matrices antes mencionadas en una sola matriz denominada  $M$ , como se observa en el diagrama de flujo de la Figura 34.

## AngRot

Esta función permite girar cada uno de los bloques en 4 ángulos o posiciones los cuales son de  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ , en cada una de estas posiciones el bloque en cuestión de la imagen secreta es comparado con el bloque correspondiente de la imagen portadora, para realizar dicha comparación se hizo uso del parámetro RMSE, con lo cual el bloque de estudio adoptará la posición en la menor valor de RMSE se obtuvo, los parámetros de entrada para esta función son las matrices de los bloques ordenados de forma descendente de la imagen secreta y portadora, en su salida presenta la posición o ángulos de cada bloque y la matriz de bloques rotados.

### Figura 35

*Imagen obtenida con la Función AngRot.*

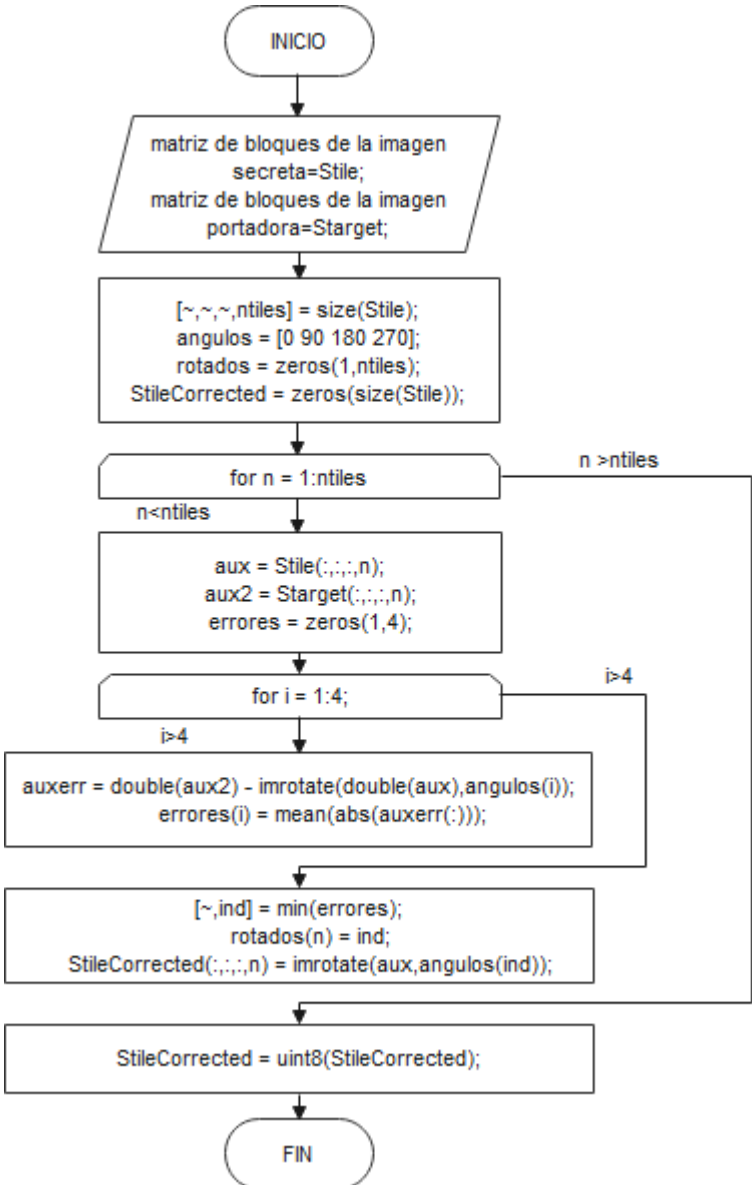


En la Figura 36 se puede observar el diagrama de flujo de la función "angrot" en el que se presenta como entradas las matrices de bloques de la imagen secreta y la imagen portadora, se obtiene el número de bloques de la imagen secreta, se define los 4 ángulos en los que se va a rotar la imagen, se crea un vector con la cantidad de elementos igual al número de bloques obtenidos previamente, se crea una matriz de ceros con las mismas dimensiones de la matriz de bloques de la imagen secreta, a

continuación entra a dos bucles de tipo for en los que se calculara el RMSE de cada bloque en los cuatro ángulos definidos y se conservará el ángulo en el cual se calculó el mínimo RMSE.

Figura 36

Diagrama de Flujo de la Función AngRot.



#### Construir4

Con esta función se consigue aplicar el método de transformación de color casi reversible (NRCT), cuyo propósito es que los componentes de color de la imagen secretan sean similares a los de la imagen portadora, para lo cual es necesario aplicar la ecuación 19 tomada de (Acosta, 2017).

$$C_{MO_i}^c = q_{c_i}(C_{SO_i}^c - \mu_{SO_i}^c) + \mu_{PO_i}^c \quad (19)$$

Donde:

- $C_{MO_i}^c$ : Es la matriz de los componentes de color de la imagen mosaico.
- $C_{SO_i}^c$ : Es la matriz de los componentes de color de la imagen secreta cuyos bloques están ordenados y rotados.
- $\mu_{SO_i}^c$  y  $\mu_{PO_i}^c$ : Son los valores de las medias o de intensidad de cada bloque de la imagen secreta y portadora respectivamente.
- $q_{c_i}$ : Es el coeficiente de desviaciones estándar entre la imagen portadora y secreta, el cual está dado por la ecuación 20.

$$q_{c_i} = \frac{\sigma_{TO_i}^c}{\sigma_{SO_i}^c} \quad (20)$$

#### Figura 37

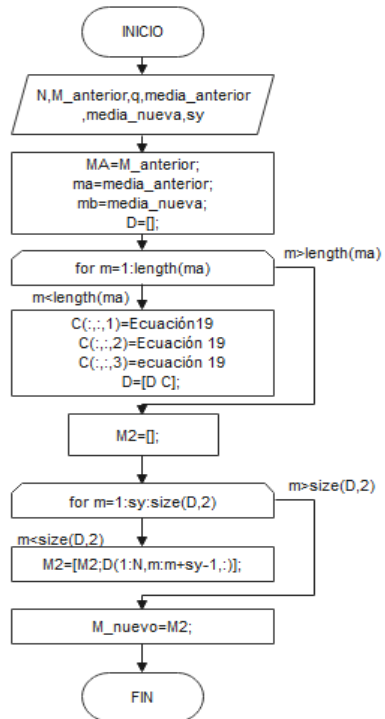
*Imágenes obtenidas con la Función Construir4.*



En la Figura 38 se logra observar el diagrama de flujo de la función “construir4”, en la que se requiere como entrada el valor de  $N$ , la matriz de bloques de la imagen secreta, el valor de la media tanto de los bloques de la imagen secreta como de la portadora, mediante un for se aplica la ecuación 19 para la transformación de color para cada uno de los bloques de los tres componentes R, G y B, finalmente se reorganiza la información en una sola matriz denominada  $M_{nueva}$  la cual se podrá visualizar como imagen mosaico.

**Figura 38**

*Diagrama de Flujo de la Función Construir4.*



### AngRec

Esta función es utilizada en la recuperación de la imagen secreta, de tal manera que esta realiza el mismo proceso que la función “angrot” descrita anteriormente, pero esta rota a cada bloque de forma que cada bloque se coloque en el angulo original, como se observa en la Figura 39 cada bloque de la imagen volvió a su posición inicial, para ello se puede comparar esta figura con las Figuras 33 cuya imagen es la inicial y la Figura 35 misma que ya se encuentra rotada.

**Figura 39**

*Imágenes obtenidas con la Función Construir4.*



## Capítulo IV

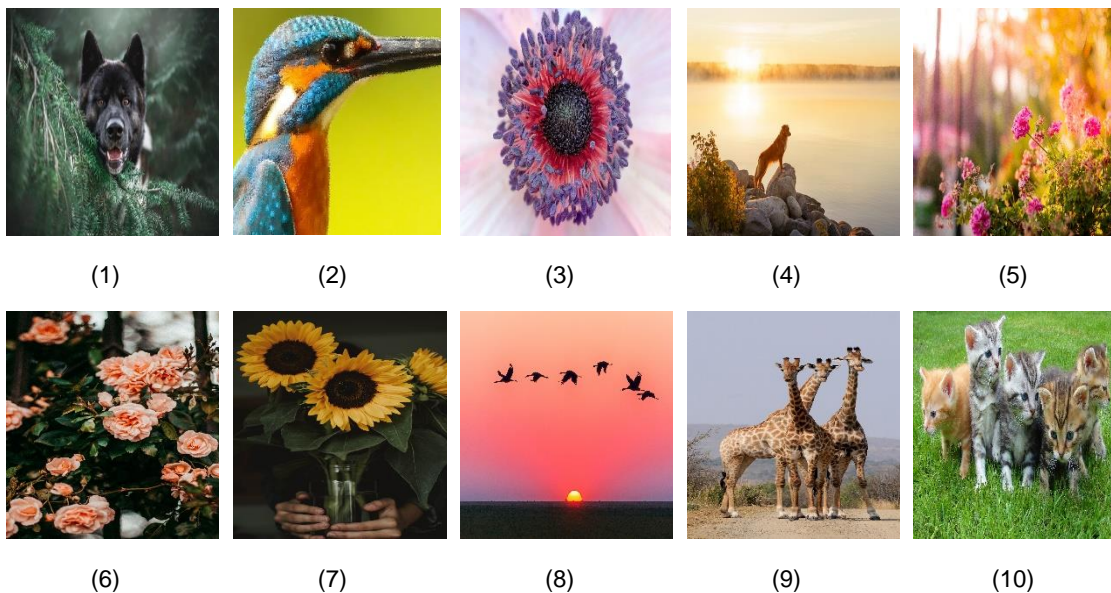
### Análisis de Resultados

Para realizar las pruebas con el algoritmo realizado se tiene una base de datos que contiene 20 imágenes que fueron escogidas de manera que estas tengan cierta similitud ya sea en su forma o en sus colores, de esta manera se podrá obtener mejores resultados al momento de procesarlas.

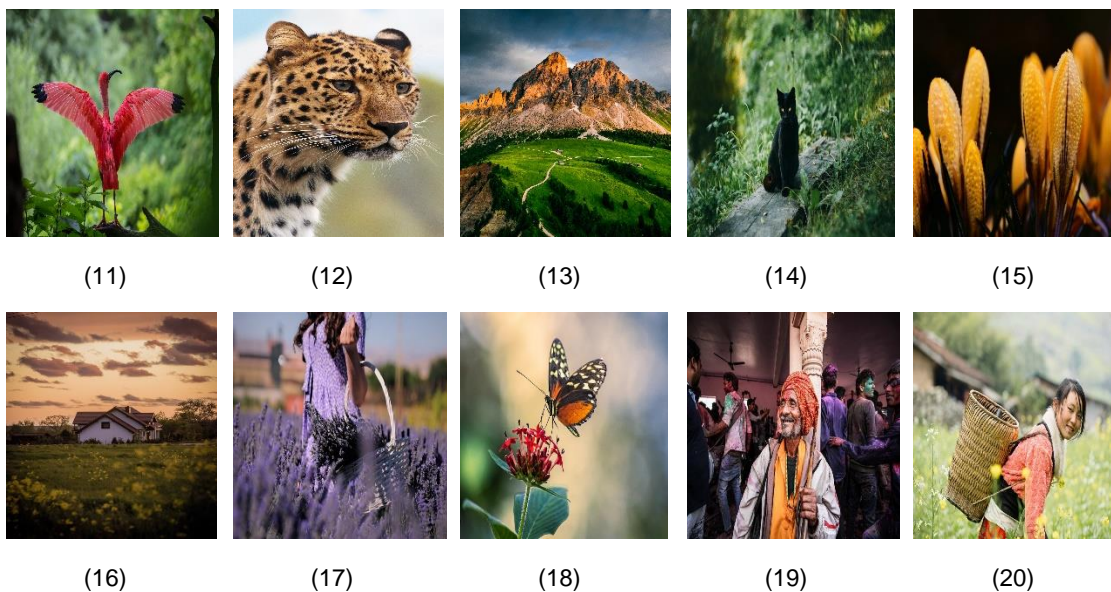
De esta base de datos cada una de las imágenes se les asignó un número del 1 al 20, de tal manera, que las 10 primeras serán las imágenes secretas y las siguientes 10 serán las imágenes portadoras, en la Figura 40 se observan las imágenes con la que se ejecutó el algoritmo con su respectivo número de identificación.

**Figura 40**

*Base de datos de Imágenes.*







*Nota.* Las imágenes contenidas en la base de datos son denotadas con números del 1 al 20, de las cuales las 10 primeras son imágenes secretas y las siguientes 10 son imágenes portadoras.

Para realizar el análisis de resultados se consideraron los pares de imágenes mostrados en la Tabla 3, de los cuales se obtendrá el flujo de bits generado con el algoritmo realizado en (Acosta, 2018) y el algoritmo propuesto en el presente trabajo de investigación, el tipo de distribución al que se ajustaron los datos de la media y finalmente los parámetros RMSE y SSIM de la imagen secreta enviada y recuperada.

**Tabla 3**

*Casos de estudio- Pares de imagen secreta y portadora.*

Caso	Imagen Secreta	Imagen Portadora
A	1	14
B	2	19
C	3	17
D	4	16

Caso	Imagen Secreta	Imagen Portadora
E	5	11
F	6	20
G	7	15
H	8	18
I	9	13
J	10	12

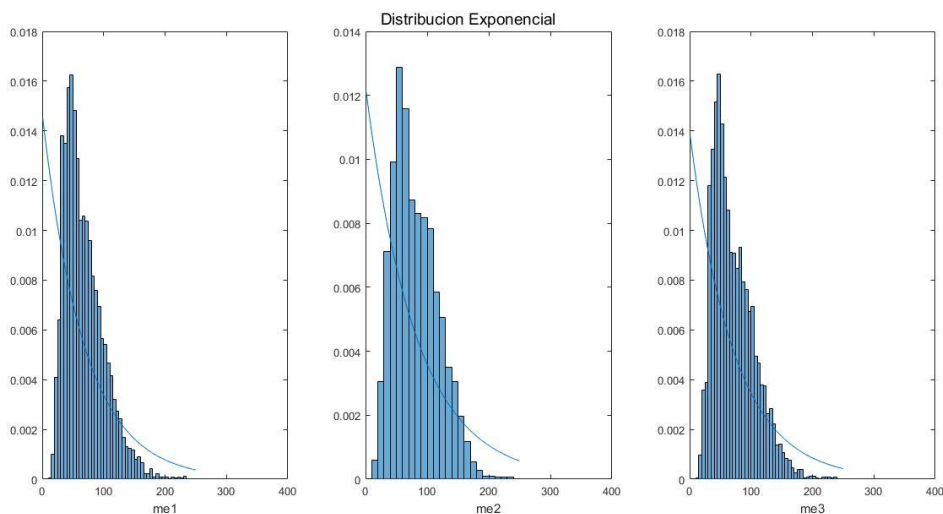
### Tamaño del Flujo de Bits

#### Caso A

Para este caso se obtuvo que los datos de la media se ajustaron mejor a una distribución de probabilidad exponencial como se puede observar en la Figura 41, dado que la divergencia de Kullback Leibler es de  $kld = 13.63$ , el cual fue el valor menor respecto a la comparación con las otras distribuciones.

Figura 41

Gráfica de la Distribución Caso A.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

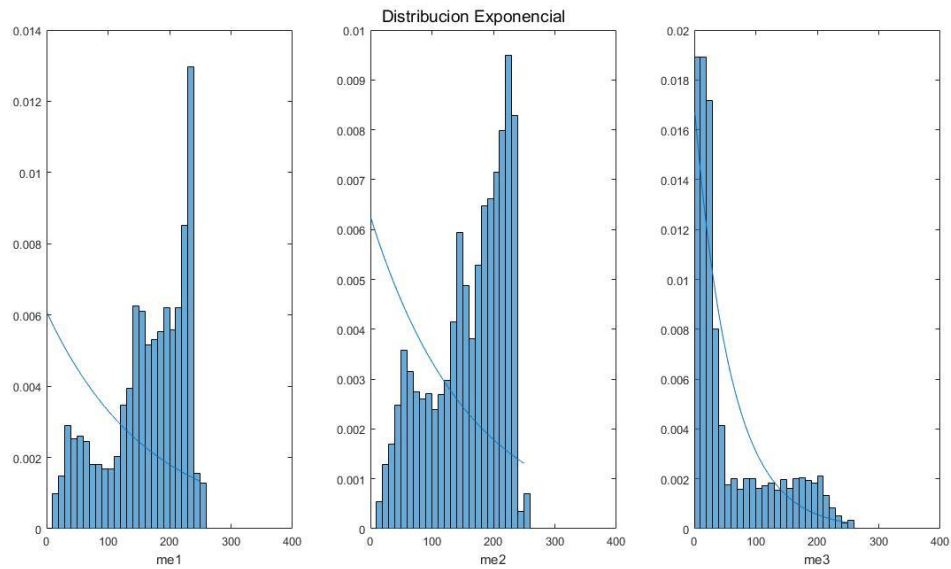
$$nbbm = 62514$$

### **Caso B**

En la Figura 42 se observa que los datos obtenidos en la media se ajustan de mejor manera con la distribución de probabilidad exponencial, por ende, la menor divergencia de Kullback Leibler se dio al realizar el cálculo entre los datos originales de la media con los datos obtenidos con la PDF exponencial, sin embargo, es evidente que la divergencia calculada con respecto a  $m_1$  y  $m_2$  tiene mayor distancia por lo cual esta no se ajusta a la distribución exponencial cuyos valores son de  $kld_{m1} = 156.21$  y  $kld_{m2} = 149.14$  los cuales corresponden a las medias de los componentes de color R y G respectivamente, pero en el caso del componente B,  $m_3$  tiene menor distancia, por ende, la curva se ajusta de mejor manera teniendo un valor de  $kld_{m3} = 27.63$ .

### **Figura 42**

*Gráfica de la Distribución Caso B.*



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

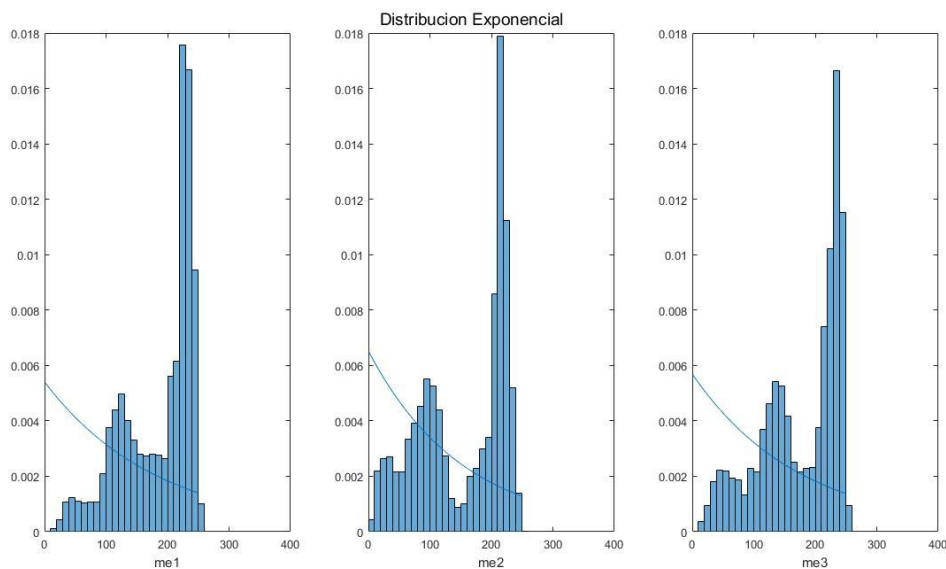
$$nbbm = 62517$$

### Caso C

En la Figura 43 se puede observar que los datos generados por la media no se ajustan a la curva de la distribución de probabilidad exponencial, sin embargo, la distancia calculada con la Divergencia de Kullback Leibleir entre los datos originales y esta distribución fueron los menores con respecto a las otras distribuciones, obteniendo los siguientes valores para cada componente de color RGB,  $kld_{m1} = 253.29$ ,  $kld_{m2} = 241.97$  y  $kld_{m3} = 261.40$  respectivamente.

Figura 43

Gráfica de la Distribución Caso C.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

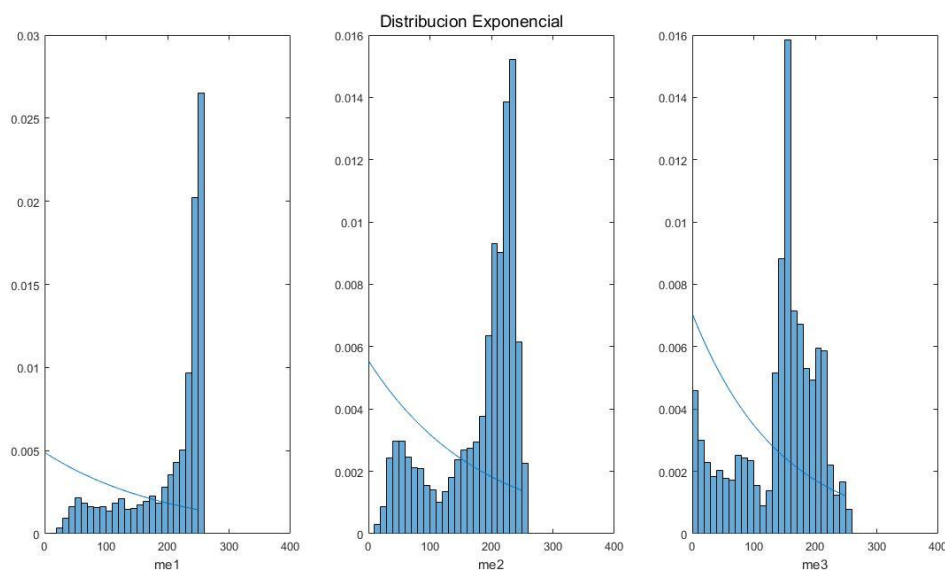
$$nbbm = 62519$$

### Caso D

En la Figura 44 se observa la distribución a la que mejor se ajustan los datos de la media, realizando el cálculo de la divergencia de Kullback Leibler se evidenció que la menor distancia entre los datos originales de la media fue con la distribución de probabilidad exponencial con lo cual se obtuvo un promedio de  $kld = 246.33$ .

Figura 44

Gráfica de la Distribución Caso C.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

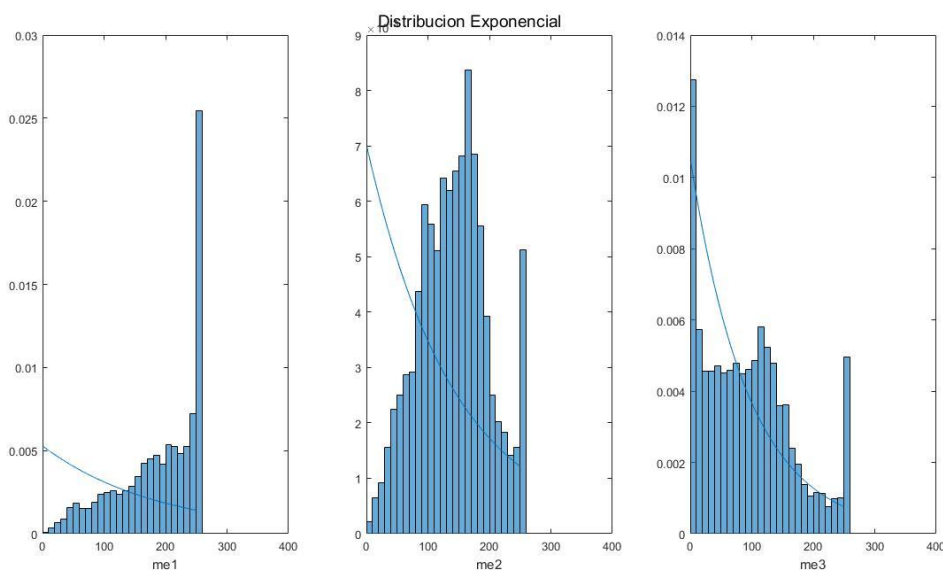
$$nbbm = 62519$$

### Caso E

En la Figura 45 se presenta los datos de la media en cada componente de color RGB y la distribución con la que mayor ajuste se consiguió, en este caso la distribución en la cual se calculó menor distancia con el valor de la divergencia de Kullback Leibler fue con la distribución de probabilidad exponencial cuyo valor fue de  $kld = 296.91$ , sin embargo, se observa que la media del componente de color B, es decir,  $m_3$  presenta un mejor ajuste con la distribución exponencial.

Figura 45

Gráfica de la Distribución Caso E.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

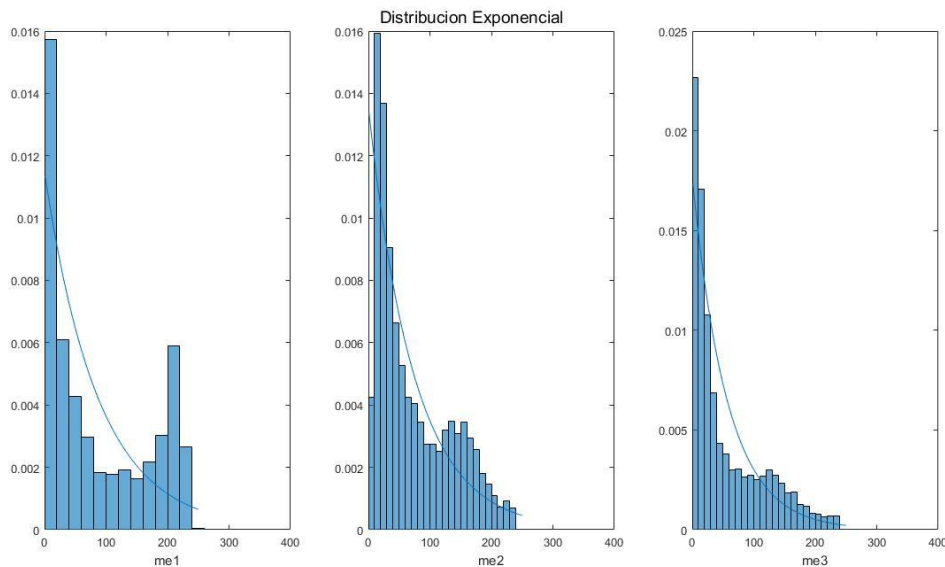
$$nbbm = 62518$$

### Caso F

En la Figura 46 se presentan las gráficas de los datos de la media y la curva de la distribución de probabilidad exponencial que fue a la que mejor se ajustó, dado que la distancia obtenida con el cálculo de la divergencia de Kullback Leibler fue menor en comparación a las demás distribuciones, cuyos valores son los siguientes  $kld_{m1} = 0.27$ ,  $kld_{m2} = 3.57$  y  $kld_{m3} = 0.89$ , mismos que corresponden a las medias de cada componente de color RGB respectivamente.

Figura 46

Gráfica de la Distribución Caso F.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

$$nbbm = 62515$$

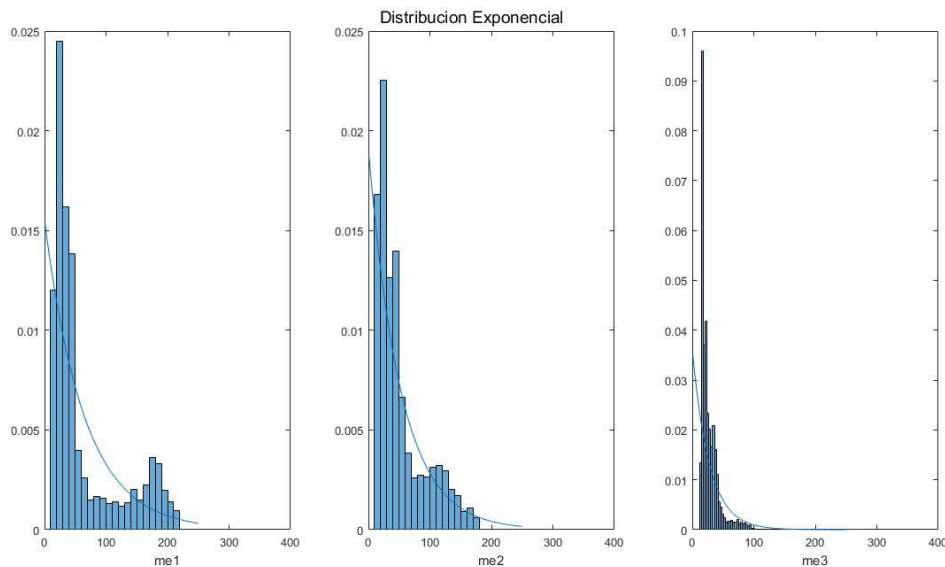
### Caso G

Las gráficas de los datos obtenidos de las medias y la distribución con la que mejor se ajustaron se presenta en la Figura 47, como se puede observar la distribución con la que mejor fueron representados los datos es la exponencial, esto se lo pudo determinar con el cálculo de la divergencia de Kullback Leibler con lo que se obtuvo un promedio de  $kld = 15.09$  entre las medias de cada componente de color RGB.



Figura 47

Gráfica de la Distribución Caso G.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

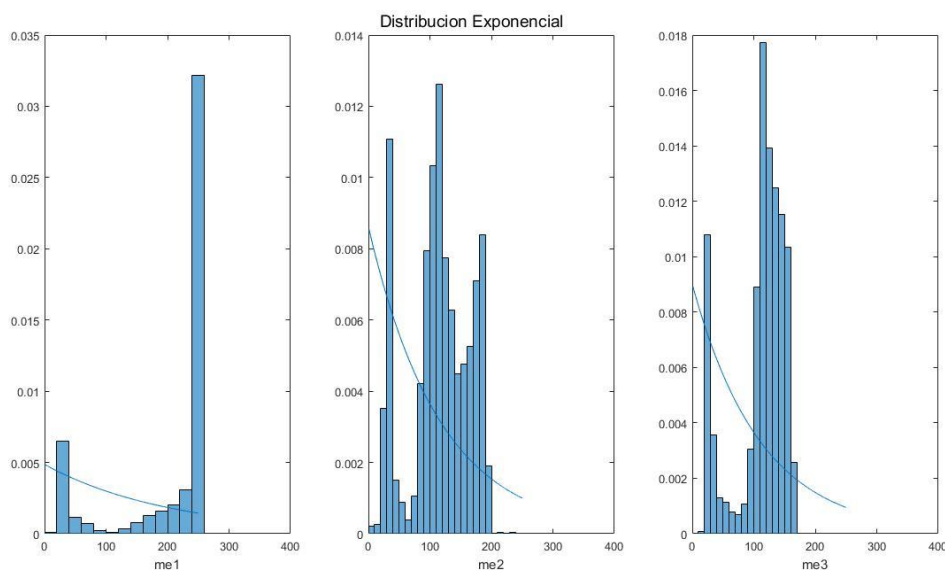
$$nbbm = 62513$$

### Caso H

En la gráfica de la Figura 48 se observa claramente que los datos de la media no se ajustan de manera óptima con la distribución exponencial, sin embargo, al realizar el cálculo de Kullback Leibler, se obtuvo la distancia mínima comparando los datos originales con los de la PDF exponencial, los valores calculados fueron  $kld_{m1} = 275.92$ ,  $kld_{m2} = 82.22$  y  $kld_{m3} = 88.99$ , para las medias de cada componente de color.

Figura 48

Gráfica de la Distribución Caso H.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

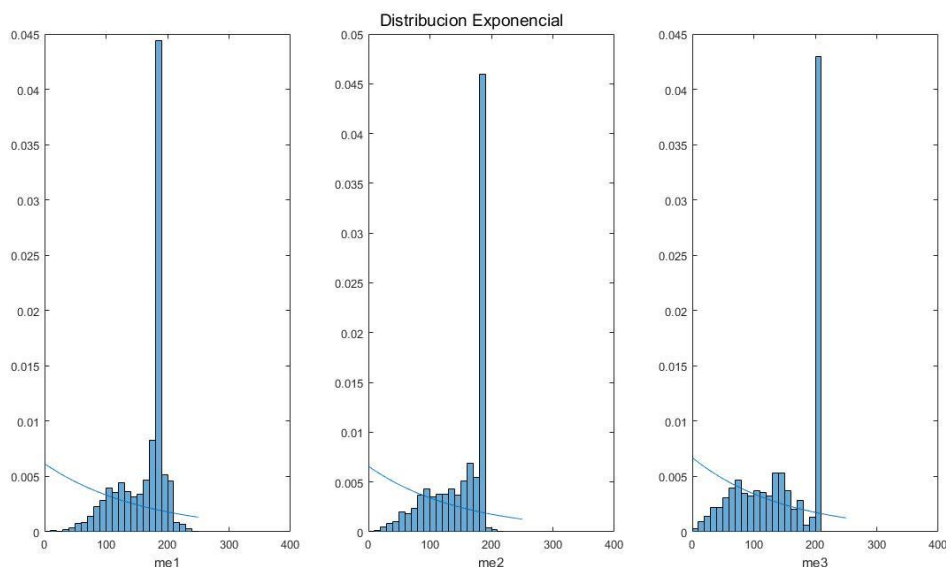
$$nbbm = 62518$$

### Caso I

Se puede observar en la Figura 49 que los datos obtenidos de la media no se ajustan perfectamente a la distribución de probabilidad, sin embargo, la distribución exponencial es con la que se consiguió menor distancia al calcular la divergencia de Kullback Leibler, cuyos valores fueron los siguientes  $kld_{m1} = 186.63$ ,  $kld_{m2} = 190.94$  y  $kld_{m3} = 212.90$  los cuales corresponden a las medias de cada uno de los componentes de color RGB respectivamente.

Figura 49

Gráfica de la Distribución Caso I.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177648$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

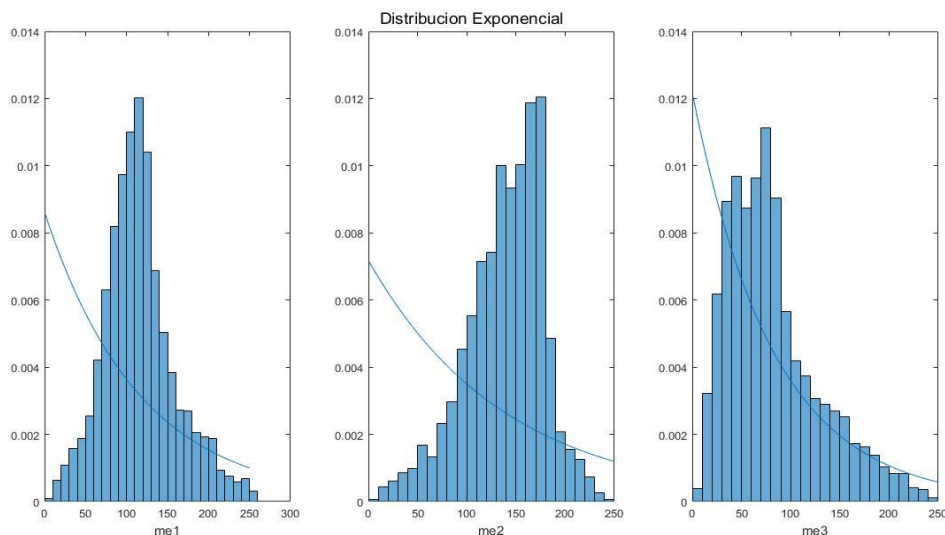
$$nbbm = 62517$$

## Caso J

En la Figura 50 se muestran los datos de las medias de cada componente de color RGB y la distribución a la que estas se ajustan, mediante el cálculo de la divergencia de Kullback Leibler se obtuvieron los siguientes valores, realizando la comparación con la Distribución exponencial  $kld_{m_1} = 6.55$ ,  $kld_{m_2} = 6.84$  y  $kld_{m_3} = 5.56$ , cuyos valores fueron los menores comparados con los obtenidos con las otras distribuciones.

Figura 50

Gráfica de la Distribución Caso J.



La cantidad de bits generados con el algoritmo dado en (Acosta, 2018) fue de:

$$nbb = 177651$$

La cantidad de bits generados con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación fue de:

$$nbbm = 62520$$

Tabla 4

Flujo de bits generado con el algoritmo original y el algoritmo nuevo.

Caso	N° de Bits	
	Algoritmo Original ( <i>nbb</i> )	Algoritmo Nuevo ( <i>nbbm</i> )
A	177648	62514
B	177648	62517
C	177648	62519

Caso	N° de Bits	
	Algoritmo Original ( <i>nbb</i> )	Algoritmo Nuevo ( <i>nbbm</i> )
D	177648	62519
E	177648	62518
F	177648	62515
G	177648	62513
H	177648	62518
I	177648	62517
J	177651	62520
Promedio	177648.3	62517

### Análisis RMSE

Dado que este parámetro estadístico permite obtener un análisis objetivo, fue utilizado para verificar la legibilidad de la imagen recuperada en el receptor, para lo cual, es necesario realizar una comparación entre la imagen secreta enviada y la imagen secreta recuperada, para ello, se analizó cada uno de los casos.

Para un mejor análisis de este parámetro se realizó pruebas utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) con el que se obtuvo el parámetro RSME al que se le denominará  $RMSE_o$  adicional se realiza pruebas con el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación en el que también se calculó el parámetro RMSE al que se le denominará  $RMSE_n$ , para su análisis posterior.

### Caso A

En la Figura 51 se puede observar tanto la imagen secreta original y la recuperada, cuyo RMSE es  $RMSE_n = 33.44$ .

**Figura 51**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso A.*



Secreta



Recuperada

Al utilizar el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), se obtuvo la imagen secreta recuperada que se muestra en la Figura 52, en la que no se puede evidenciar alguna diferencia con la imagen recuperada de la Figura 51, sin embargo, con este algoritmo se obtuvo un RMSE de valor  $RMSE_o = 33.38$ , el mismo que difiere con 0.06 con el valor del RMSE obtenido en el algoritmo propuesto en este trabajo.

**Figura 52**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso A.*



Recuperada

### Caso B

En la Figura 53 se observa las imágenes secretas tanto la original como la recuperada, se puede evidencia que ambas tienen similitud y a simple vista no se aprecia la perdida de datos, sin embargo, es necesario obtener el valor del parámetro RMSE que es de  $RMSE_n = 32.26$ .

**Figura 53**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso B.*



En la Figura 54 se observa la imagen secreta recuperada mediante el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), en la que a simple vista no se observa mayor diferencia entre esta y la imagen recuperada de la Figura 53, al calcular el valor del RMSE con este algoritmo se obtuvo  $RMSE_o = 32.27$  que para fines prácticos es igual al RMSE obtenido con el algoritmo nuevo.

**Figura 54**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso B.*



Recuperada

### Caso C

En la Figura 55 Se observa que la figura secreta recuperada tiene similitud con la imagen secreta original, sin embargo, se puede apreciar que la imagen recuperada ha sufrido distorsiones generados por la pérdida de datos al realizar el procesamiento de imagen, el valor del RMSE es de  $RMSE_n = 34.26$ .

### Figura 55

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso C.*



Secreta



Recuperada

La imagen secreta recuperada con el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) obtuvo un RMSE respecto a la imagen secreta original de  $RMSE_o = 34.51$ ., esta imagen se puede observar en la Figura 56.



**Figura 56**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso C.*



Recuperada

**Caso D**

En la Figura 57 se puede ver las imágenes secretas enviada y recuperada, en este caso se observa que la imagen recuperada es bastante distorsionada respecto de la original, adicional la imagen se muestra pixelada ya que los bloques que forman la imagen tienen atenuaciones provocado por la pérdida de datos en el proceso, por lo cual al calcular el valor del RMSE se obtuvo  $RMSE_n = 27.81$ .

**Figura 57**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso D.*



Secreta



Recuperada

En la Figura 58 se muestra la imagen secreta recuperada con el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), cuyo valor de RMSE es de  $RMSE_o = 27.36$ .

**Figura 58**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso D.*



Recuperada

### **Caso E**

La Figura 59 presenta la imagen secreta enviada y recuperada en la que se aprecia pequeñas distorsiones, sin embargo, tiene alta similitud con relación a la original, el valor del RMSE es de  $RMSE_n = 39.04$

**Figura 59**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso E.*



Secreta



Recuperada

En la Figura 60 se presenta la imagen secreta recuperada con el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), aparentemente no se observa ninguna diferencia entre

esta y la imagen recuperada de la Figura 59, pero al calcular el parámetro RMSE se obtuvo un valor  $RMSE_o = 33.38$ .

#### Figura 60

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso E.*



Recuperada

#### Caso F

La imagen secreta original y recuperada se pueden observar en la Figura 61, en la que se puede apreciar una ligera distorsión en el color de la imagen recuperada respecto de la original, sin embargo, la forma es similar y presenta distorsión, mediante el cálculo del RMSE se obtuvo un valor de  $RMSE_n = 35.93$ .

#### Figura 61

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso F.*



Secreta



Recuperada

Utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) se obtuvo la imagen secreta recuperada mostrada en la Figura 62, cuyo valor de RMSE es igual a  $RMSE_o = 36.37$ .

**Figura 62**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso F.*



Recuperada

**Caso G**

Como se puede observar la Figura 63 la imagen secreta recuperada presenta una ligera distorsión el color mas no en la forma respecto a la imagen secreta original, lo cual se puede corroborar con el cálculo del RMSE cuyo valor es de  $RMSE_n = 30.99$ .

**Figura 63**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso G.*



Secreta



Recuperada

En la Figura 64 se muestra la imagen secreta recuperada a partir del algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), con lo cual se consiguió un valor de RMSE de  $RMSE_o = 31.60$ .

**Figura 64**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso G.*



Recuperada

### Caso H

En la Figura 65 se presentan las imágenes secretas enviada y recuperada, en la imagen recuperada se observa a simple vista que es similar a la enviada, se puede decir, que la diferencia que presenta es mínima ya que aparentemente se ve más opaca que la original, al calcular el parámetro estadístico RMSE es de  $RMSE_n = 22.91$ .

**Figura 65**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso H.*



Secreta



Recuperada

Al ejecutar el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) se obtuvo la imagen secreta recuperada mostrada en la Figura 66 con un valor de RMSE de  $RMSE_o = 22.99$  mismo que tiene una mínima diferencia respecto del RMSE obtenido con el algoritmo nuevo.

**Figura 66**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso H.*



Recuperada

### **Caso I**

En la Figura 67 se observa la imagen secreta original y recuperada, en este caso se puede ver que la imagen recuperada no se encuentra bien definida y casi imposible distinguir los detalles de la misma, además se observa que los pixeles de la parte superior se encuentran distorsionados ya que no coinciden con los colores que se muestran en la imagen original, realizando el cálculo del parámetro RMSE se obtuvo un valor de  $RMSE_n = 33.18$ .

**Figura 67**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso I.*





Secreta



Recuperada

En la Figura 68 se muestra la imagen secreta recuperada ejecutando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), cuyo valor de RMSE obtenido fue de  $RMSE_o = 32.92$ .

**Figura 68**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso I.*



Recuperada

**Caso J**

En la Figura 69 se observa claramente que la imagen recuperada presenta un alto nivel de distorsión respecto de la imagen secreta enviada, puesto que, solo se puede distinguir los colores mas no la forma, realizando el cálculo del RMSE se obtuvo un valor de  $RMSE_n = 40.27$ .

**Figura 69**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada Caso J.*



Secreta



Recuperada

En la Figura 70 se observa la imagen secreta recuperada, la cual se obtuvo a partir del algoritmo propuesto en (Acosta, 2018), se obtuvo un valor de RMSE de  $RMSE_o = 40.14$ .

**Figura 70**

*Imagen Secreta Original/ Recuperada usando el algoritmo de (Acosta, 2018) Caso E.*



Recuperada



Tabla 5

Error cuadrático medio utilizando el algoritmo original y el algoritmo nuevo.

<b>Caso</b>	<b>Algoritmo Original (<math>RMSE_o</math>)</b>	<b>Algoritmo Nuevo (<math>RMSE_n</math>)</b>
A	33.38	33.44
B	32.27	32.26
C	34.51	34.26
D	27.36	27.81
E	33.38	39.04
F	36.37	35.93
G	31.60	30.99
H	22.99	22.91
I	32.92	33.18
J	40.14	40.27
Promedio	32.49	32.71

### **Análisis SSIM**

Como se mencionó en el capítulo 2, el índice de similitud estructural, SSIM por sus siglas en inglés, representan una métrica perceptual para definir la calidad de una imagen, el mismo que considera tres características de la imagen las cuales son luminancia, contraste y estructura, para realizar este cálculo es necesario tener dos imágenes una de ellas es la imagen original y la otra la imagen procesada, de tal manera que se podrá obtener la degradación de la imagen procesada respecto de la original.

Para analizar el impacto que se dio en las imágenes recuperadas utilizando el algoritmo presente en este trabajo de investigación fue necesario ejecutar pruebas con el mismo par de imágenes, pero con el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018).

La imagen secreta original y recuperada para cada uno de los casos se pueden observar en las figuras del apartado anterior, a simple vista se puede ver que no existe mayor diferencia entre ambas las imágenes recuperadas de acuerdo a cada caso, sin embargo, al calcular el índice de similitud estructural se obtuvo los siguientes valores mostrados en la Tabla 6, cuyo promedio de este índice utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) fue de  $SSIM_o = 0.6583$  y con el algoritmo nuevo se obtuvo un promedio de  $SSIM_n = 0.6579$  la diferencia entre ambos valores es mínima, pero en la mayoría de los casos la imagen recuperada con mayor calidad fue utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018).

**Tabla 6**

*Índice de similitud estructural utilizando el algoritmo original y el algoritmo nuevo.*

Caso	Índice de similitud estructural con el algoritmo original	Índice de similitud estructural con el algoritmo nuevo
	( $SSIM_o$ )	( $SSIM_n$ )
A	0.3840	0.3883
B	0.8243	0.8219
C	0.5266	0.5291
D	0.8857	0.8787
E	0.8237	0.8147
F	0.4235	0.4266

Caso	Índice de similitud estructural con el algoritmo original	Índice de similitud estructural con el algoritmo nuevo
	$(SSIM_0)$	$(SSIM_n)$
G	0.6583	0.6753
H	0.9588	0.9551
I	0.6098	0.6075
J	0.4881	0.4818
Promedio	0.6583	0.6579

## Capítulo V

### Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros

#### Conclusiones

- Se desarrolló e implemento un algoritmo esteganográfico de imágenes, el mismo que fue basado en el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) en el obtiene la PDF de la desviación estándar de la imagen secreta para reducir el flujo de bits a ser enviados, este caso se implementó este algoritmo para obtener la PDF de las medias de cada componente de color RGB de la imagen secreta de tal manera que el flujo de bits sea aún más reducido.
- Se observó que al ejecutar el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación los datos de la media de cada componente de color de la imagen secreta tuvo un mejor ajuste con la distribución de probabilidad exponencial, ya que al calcular la divergencia de Kullback Leibler se obtuvo una menor distancia al relacionar los datos originales con esta distribución, sin embargo, se observa que no tiene un ajuste perfecto ya que la distancia calculada tiene un alto valor, pero al comparar con las otras distribuciones este valor es el mínimo.
- Se comprobó que al obtener la PDF de las medias de cada componente de color de la imagen secreta el flujo de bits generado se redujo significativamente ya que utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) el flujo de bits promedio fue de 177648 bits, mientras que al ejecutar el algoritmo propuesto en este trabajo de investigación se obtuvo un flujo de 62517 bits, es decir, el flujo de bits inicial se redujo en un 64.81%.

- Se verificó que al reducir el flujo bits a ser enviados el error cuadrático medio RMSE por sus siglas en inglés, incrementó de forma mínima, puesto que con el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) se obtuvo un promedio de  $RMSE = 32.49$  y en el algoritmo implementado en este trabajo se obtuvo un promedio de  $RMSE = 32.71$ , es decir, que al aumentar este parámetro la calidad de la imagen disminuyó.
- Se Corroboró que la calidad de la imagen secreta recuperada disminuyó, realizando la comparación ejecutando ambos algoritmos, la métrica que permitió llegar a esta conclusión fue el SSIM, que es el índice de similitud estructural el cual permite comparar la imagen procesada con la imagen original, con lo cual se obtuvo un  $SSIM = 0.6585$  utilizando el algoritmo propuesto en (Acosta, 2018) y un  $SSIM = 0.6579$  utilizando el algoritmo propuesto en este trabajo.
- Se concluye que el algoritmo implementado permitió reducir el flujo de bits a ser enviados, sin embargo, esto implica una pérdida de calidad en la imagen recuperada, esto se da por la pérdida de datos que provoca el procesamiento de la imagen, no obstante, esta pérdida es mínima y su importancia dependerá de la aplicación en la que sea considerada.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda realizar una selección previa de la imagen portadora y secreta para obtener un mejor desempeño del algoritmo implementado, puesto que, al existir un alto grado de similitud entre ambas imágenes, la imagen mosaico tendrá mejor calidad por ende al tratar de recuperar la imagen secreta también lo tendrá.

- Se recomienda trabajar con imágenes de formato JPEG ya que este formato cuenta con una previa compresión de datos, lo cual permitirá que el algoritmo se desempeñe de forma óptima y cumpla con el propósito principal.
- Se recomienda que las imágenes tengan medidas divisibles para 8 tanto de forma vertical como horizontal, ya que 8 es la cantidad de píxeles de cada bloque en que la imagen será dividida.
- Se recomienda utilizar imágenes de la misma resolución, para que al momento de recuperar la imagen secreta el pixelado sea menos evidente, por ende, la imagen sea de mejor calidad.
- Se recomienda el uso ético y profesional de este tipo de técnicas de ocultación de la información ya que esto puede ser utilizado con fines de destrucción o espionaje hacia terceras personas provocando daño o sustracción de información importante del afectado.

### **Trabajos Futuros**

Al culminar este trabajo de investigación se evidenció que es un tema que actualmente se encuentra en pleno auge y abre campo a varias aplicaciones una de ellas puede ser la implantación de una aplicación para televisión digital en la cual se pueda ejecutar el algoritmo en un escenario real para poder verificar la calidad de la imagen secreta recuperada al pasar por obstáculos provocados por la red y de esta manera se puede cotejar si la imagen recuperada es legible o no.

Otro de los trabajos a implementar podría ser el diseño de una interfaz gráfica la misma que se amigable con el usuario y pueda mostrar los pasos importantes que se van ejecutando para obtener la imagen mosaico y como a partir de ella se recupera la

imagen secreta, de tal forma que el proceso de esteganografía sea de fácil comprensión.

Adicionalmente se puede realizar un estudio con diferentes distribuciones de probabilidad para que los datos obtenidos en la media de cada componente de color de la imagen tenga un mejor ajuste, menor pérdida de datos y por consiguiente la imagen recuperada tenga valores óptimos en los parámetros de RMSE y SSIM, con lo cual se obtendrá una imagen con mejor calidad.

### Fuentes Bibliográficas

- Abad, J. (2003). *Restauración y reconstrucción bayesianas de imagen usando descomposiciones multibanda*. España: Granda.
- Acosta, F., Mora, I., Olmedo, G., & Rojo, J. (2018). Data amount reduction in mosaic image transmission techniques for digital interactive television applications. *IEEE Access*, 6.
- Aturi, D., & Fernandez, L. (2003). Ocultación de imágenes mediante esteganografía. *Novatica*.
- Bani, M., & Jantan, A. (2008). A new steganography Approach for image Encryption Exchange by using the least significant bit insertion. *International journal of computer science and network security*, 8.
- Canavos, G. (1988). *Probabilidad y estadística*. Madrid: McGraw- Hill.
- Chitradevi, B., Thinaharan, N., & Vasanthi, M. (2017). Data hiding using least significant bit steganography in digital images. *Statistical approaches on multidisciplinary research*, 1.
- Garcés, R., & Acosta, F. (2020). *Desarrollo de una técnica esteganográfica para la transmisión segura de imágenes ocultas en un video usando imágenes mosaico secretas por transformación de color reversible*. Ecuador: Sangolquí.
- Gupta, S., & Bhushan, B. (2012). Information hiding using least significant bit steganography and cryptography. *I.J. Modern education and computer science*, 6.
- Gutierrez, A., & Nieto, J. (2013). *Software de esteganografía del bit menos significativo para distribuir archivos en varias imágenes digitales*. Colombia: Bogotá.
- Jiménez, P. (2009). *Implementación de un compresor- descompresor de imágenes con JPEG200 en un DSP*. México: México.



- Mejía, R. (2005). *Apuntes de procesamiento digital de señales*. México; San Luis Potosí.
- Morocho, E., Zambrano, A., Carvajal, J., & López, G. (2015). Análisis del algoritmo esteganográfico F5 para imágenes JPEG a color. *Revista politécnica*, 36.
- Onofre, G., & Acosta, F. (2016). *Desarrollo y análisis de una técnica esteganográfica en zonas ruidosas de la imagen mediante transformaciones de color reversible*. Ecuador: Quito.
- Ordoñez, C. (2005). Formatos de imagen digital. *Revista digital universitaria*, 5.
- Ortiz, M. (2013). *Procesamiento digital de imágenes*. México: Puebla.
- Pedro, A., Pinto, E., & Toscano, J. (2017). Métricas estructurales para evaluar la similitud de texturas naturales. *Reserch in computing science*, 136.
- Prieto, G., & Guibelalde, E. (2017). *Análisis y propuesta de métricas de calidad de imagen médica que minimiza al observador humano*. España: Madrid.
- REinhard, R., Adhikhmin, M., Gooch, B., & Shirley, P. (2001). Transferencia de color entre imágenes. *IEEE computer graphics and applications*.
- Rodriguez, C. (2016). *Estudio y desarrollo de una aplicación de esteganografía para enviar datos en archivos de audio, orientado a la seguridad en los sistemas de comunicación*. Ecuador: Quito.
- Rodríguez, M., & Rosas, M. (2016). *Análisis de las técnicas de esteganografía para el ocultamiento de la información*. Ecuador: Quito.
- Salser, F., & Mejía, H. (2016). *Comparación de técnicas esteganograficas de dominio espacial y dominio frecuencial en imágenes digitales*. Perú: Chiclayo.
- Sugathan, S. (2016). An Improved LSB Embedding Technique for Image Steganography. *Siemens Healthcare Pvt. Ltd.*

- Sumathi, C., Santanam, T., & Umamaheswari, G. (2013). A study of various steganographic techniques used for information hiding. *International journal of computer science & engineering survey* .
- The Mathworks*. (2019). Obtenido de Documentación de mathworks:  
<http://la.mathworks.com/help/index.html>
- Torres, M. (2012). *Detección de condición de falla de encolamientos de cambios de estado de móviles prepago a través de divergencia de Kullback- Leibler*. Chile: Santiago de Chile.
- Vasco, C., & Acosta, F. (2018). *Nueva técnica de transmisión segura de imágenes aplicando transformaciones de color reversible en zonas ruidosas de la imagen*. Ecuador: Quito.
- Velasco, C., López, J., Nakano, M., & Pérez, H. (2007). Esteganografía en una imagen digital en el dominio DCT. *Científica*, 11.
- Villa, H., & Jaramillo, J. (2015). *Aplicaciones de la esteganografía en la seguridad informática*. Colombia: Pereira.
- Ya- Lin Lee, W. H. (s.f.). A new secure image transmission technique via secret fragment-visible mosaic images by nearly reversible color transformations. *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 24.