

## COMPARACIÓN DE TÉCNICAS ESTEGANOGRÁFICAS DE DOMINIO ESPACIAL Y DOMINIO FRECUENCIAL EN IMÁGENES DIGITALES

Fernando Sialer, Ivan Mejia

Escuela de Ingeniería de Sistemas, Universidad Señor de Sipán – Perú  
{sayalafa, hmejiac}@crece.uss.edu.pe

**Keywords:** Dominio Espacial, Dominio Frecuencial, RGB, YCbCr, YUV, esteganografía, DCT, Imagen.

### Resumen

La esteganografía estudia diferentes técnicas para la ocultación de datos en otros objetos, conocidos como objetos portadores. Actualmente, estos objetos portadores suelen ser medios digitales, como por ejemplo imágenes, videos o archivos de sonido. No obstante, sin lugar a dudas, el medio más utilizado en la actualidad son las imágenes, por su amplia difusión en Internet [1]. Las imágenes digitales sufren ciertos cambios en su matriz que la compone, haciendo que la imagen digital se distorsione o presente cambio alguno [2]. En este trabajo se evaluó las técnicas esteganográficas de Dominio Espacial (DE) y Dominio Frecuencial (DF), para el ocultamiento de información aplicando en los espacios de color RGB, escala de grises, YCbCr e YUV, basándose en la imperceptibilidad de la información en Imágenes Digital. La primera técnica permite ocultar información en los píxeles de la imagen basándose en el método Least Significant Bit (LSB) alterando el último bit del píxel binarizado. La segunda técnica permite ocultar información en las bajas frecuencias de la imagen basándose en la Transformada Discreta de Coseno (DCT) alterando los coeficientes AC binarizados mediante el método Least Significant Bit (LSB). Ambas técnicas procesan la Imagen Digital y muestran como resultado una nueva Imagen Digital con la información oculta.

### I. Introducción

Durante el proceso de ocultamiento de la información en un portador, tales como las imágenes digitales, sufren alteraciones en la matriz que la compone haciendo evidente distorsiones o cambio alguno en ella. Los inconvenientes presentados en el proceso, es que esas distorsiones en su mayoría son visibles ante el ojo humano, haciendo a la imagen digital perceptible y sospechosa que exista información dentro de la imagen digital [2].

La comparación de técnicas esteganográficas para el ocultamiento de información en imágenes digitales en diferentes espacios de color, es el propósito principal de este trabajo. La implementación de la esteganografía en

imágenes digitales, es un tema de investigación que tiene antecedentes, Ortega et en [3], propone un método que se basa en esconder información en los píxeles, aplicando Least Significant Bit (LSB) en una imagen digital de formato Windows Bitmap (BMP) en escala de grises, y López et en [4], propone un método que se basa en ocultar información en los coeficientes AC aplicando Transformada Discreta de Cosenos (DCT), para su robustez en compresiones Join Photographic Experts Group (JPEG).

La técnica esteganográfica de Dominio Espacial (DE), altera los píxeles de la matriz de la imagen digital en diferentes espacios de color, y la técnica de Dominio Frecuencial (DF), altera los coeficientes AC obtenidos por la Transformada Discreta de Coseno (DCT), calculando las bajas frecuencias de las imágenes en diferentes espacios de color, ambas técnicas utiliza Least Significant Bit (LSB) para la inserción de la información. En los resultados experimentales, basados en imperceptibilidad en imágenes digitales, se asignó una clasificación de 0 a 2, donde 0 es bajo, 1 es medio y 2 es alto, mostrando que DE en sus espacios de color RGB, escala de grises, YCbCr e YUV, teniendo un promedio de clasificación 2 es mejor, que la técnica de DF en sus espacios de color en escala de grises con un promedio de clasificación 1.39, YCbCr con un promedio de clasificación 1.37, e YUV con un promedio de clasificación 1.27.

### II. Trabajos Relacionados

En investigaciones previas, se encontró métodos para ocultar información en imágenes digitales; Ortega et en [3], propone un método para ocultar información en imágenes digitales en escala de grises utilizando Windows Bitmap (BMP). Para la inserción utilizó Least Significant Bit (LSB), que consiste en modificar el último bit de los píxeles binarizados, una vez obtenido la información binarizada, que se desea ocultar. Al final de la propuesta, se desarrolló una aplicación, donde el usuario, puede seleccionar una imagen digital en escala de grises e ingresar un mensaje para ser ocultado, una vez obtenida la imagen digital encubierta. Pasa por 3 procesos, la fidelidad, los elementos no afectados, y Signal Noise Ratio (SNR) de la imagen digital encubierta, para observar alguna variación en la imagen digital.

En la investigación de López et en [4], desarrollo un método, para poder ocultar información en imágenes digitales, en escala de grises, robustas ante compresiones Join Photografic Experts Group (JPEG). Para la inserción de la información en imágenes digitales, utilizo Least Significant Bit (LSB), para modificar el último bit de los coeficientes AC binarizados de la imagen digital, calculado por la Transformada Discreta de Coseno (DCT), una vez obtenido la información codificada con ayuda del Código Binario Lineal GOLAY(23,7) que se desea ocultar. Al final de la propuesta, se desarrolló una aplicación, donde el usuario puede seleccionar una imagen en escala de grises, ingresar un mensaje para ser camuflado, una vez obtenida la imagen digital encubierta, pasa por 3 procesos ataques de compresión Join Photografic Experts Group (JPEG), ataque de Ruido Gaussiano y Ruido Impulsivo para ver que robusto es ante esos ataques.

En la investigación de Nils et en [5], desarrollado un método para poder ocultar información en diferentes lugares de las imágenes digitales a color, utilizando recorrido de grafos, para realizarlo se necesita operadores, restricciones, y la elaboración del grafo de acuerdo a los movimiento del caballo. Al final de la propuesta, desarrollo una aplicación, donde el usuario puede seleccionar una imagen digital a color, ingresando un mensaje para ser camuflado, una vez obtenido la imagen digital encubierta, pasa por un promedio imagen a color por canal, para observar los cambios en los 3 canales RGB de la imagen.

### III. Metodología

Con el objetivo de identificar la mejor técnica de ocultamiento de información en imágenes digitales, utilizando esteganografía para ver el grado de imperceptibilidad, se proponen comparar dos técnicas para el ocultamiento de la información en imágenes digitales. La primera técnica de Dominio Espacial (DE), se basa en ocultar la información en los pixeles de la imagen digital, aplicando Least Significant Bit (LSB). La segunda técnica DF, se basa en ocultar la información en la imagen digital en los coeficientes AC, aplicando Least Significant Bit (LSB), calculando las frecuencias, utilizando la Transformada Discreta de Coseno (DCT).

#### 3.1. Dominio Espacial

La técnica se basa, en la investigación [3], donde se hace el ocultamiento de la información en imágenes digitales de formato BMP, en escala de grises. La técnica, utiliza Least Significant Bit (LSB), para el ocultamiento de la información en los pixeles de la imagen digital.

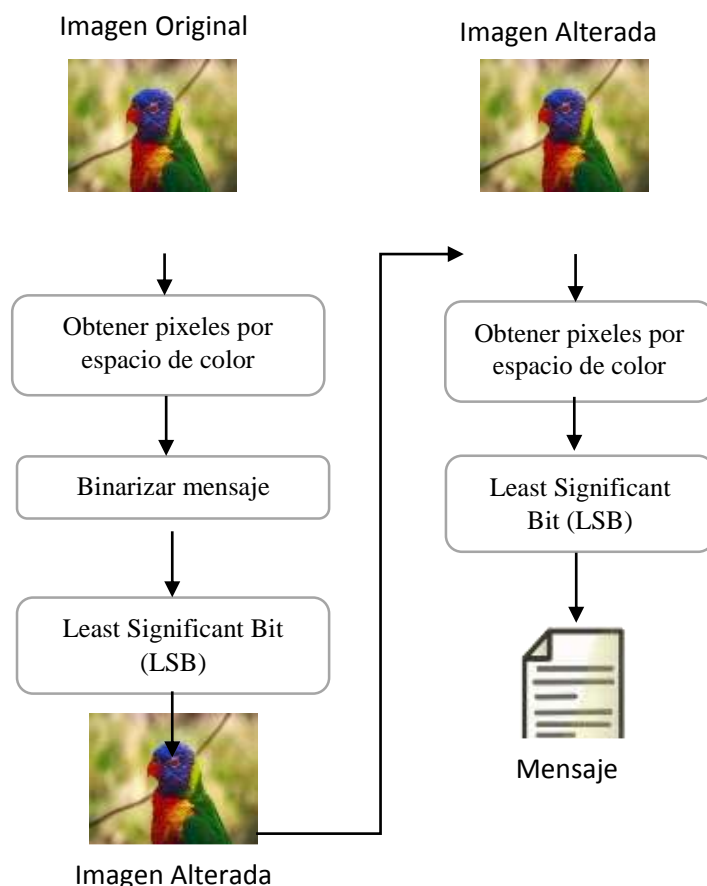


Fig. 1- Ilustración del proceso de ocultamiento y recuperación del mensaje en imágenes digitales aplicando Dominio Espacial (DE)

#### a. Obtener pixeles por espacio de color

La imagen digital obtenida, se selecciona el espacio de color y se procede a recorrer toda la matriz para poder obtener los pixeles que varían de 0 a 255.

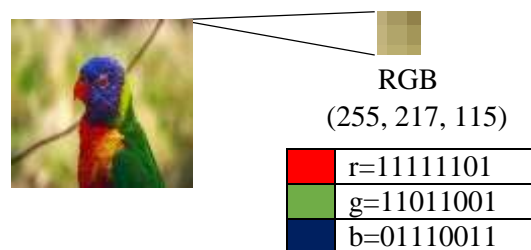


Fig. 2- Ilustración de obtención de pixeles de la imagen digital en RGB.

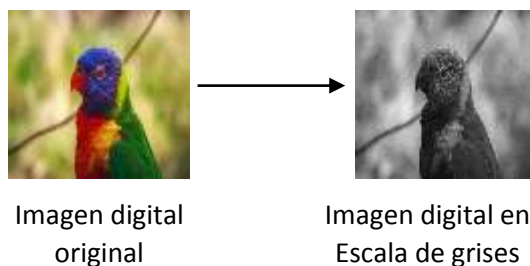


Fig. 3- Ilustración de conversión la Imagen Digital en RGB a Escala de Grises.

$$Y = Avg(R, G, B) = \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

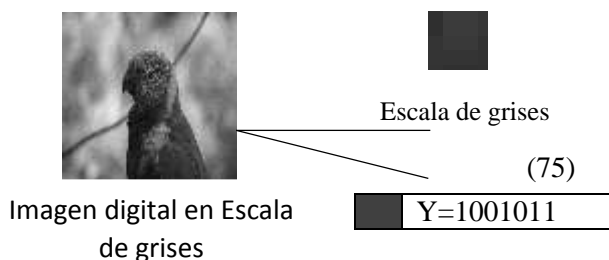


Fig. 4- Ilustración de obtención de pixeles de la imagen digital en escala de grises.

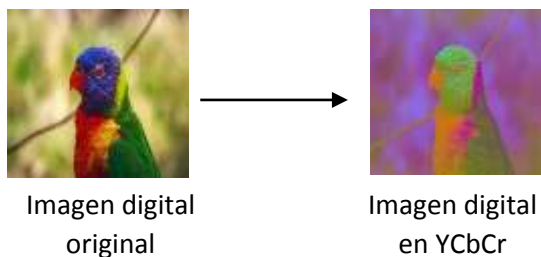


Fig. 5- Ilustración de conversión la imagen digital en RGB a YCbCr.

$$Y = w_R * R + (1 - w_B - w_R) * G + w_B * B \quad (2)$$

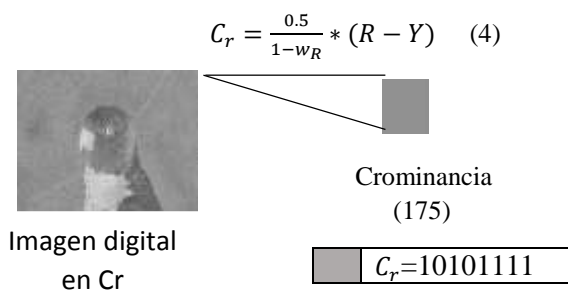
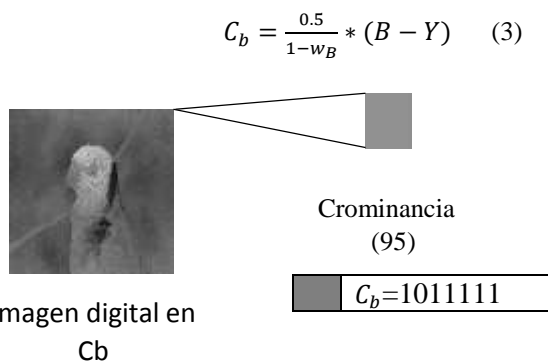
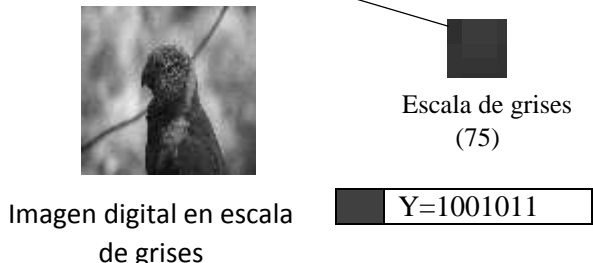


Fig. 6- Ilustración de obtención de pixeles de la imagen digital en YCbCr.

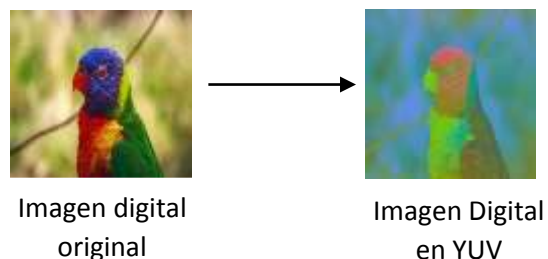
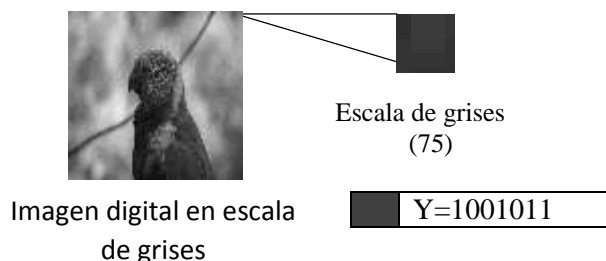


Fig. 7- Ilustración de conversión la Imagen Digital en RGB a YUV.

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (5)$$



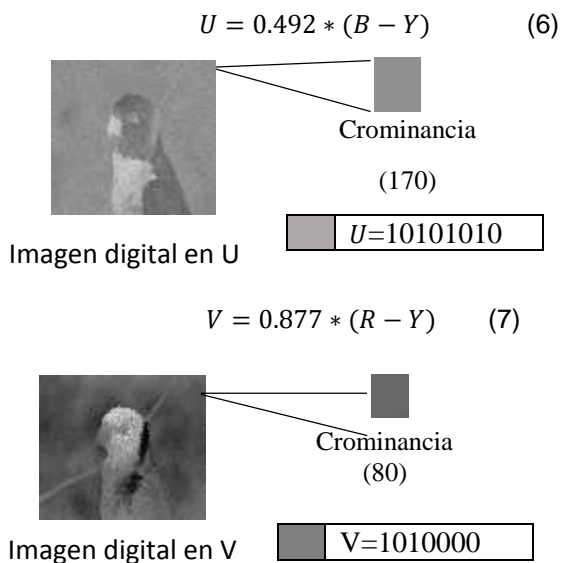


Fig. 8- Ilustración de obtención de pixeles de la imagen digital en YUV.

b. Binarizar Mensaje

El mensaje o frase se descompone en caracteres obteniendo sus decimales localizado en el código ASCII

Carácter	h	o	l	a
Código ASCII	68	111	108	97
binario	0	0	0	0
	1	1	1	1
	1	1	1	1
	0	0	0	0
	1	1	1	0
	0	1	1	0
	0	1	0	0
	0	1	0	1

Tabla 1- Binarización de la Frase "hola" según el código ASCII

c. Método Least Significant Bit (LSB)

Los pixels se modifica aplicando Least Significant Bit (LSB), que consiste en cambiar el ultimo bit del pixel.

Pixeles	Infor maci ón	Pixeles Esteganografados
R=11111101	0	R=11111100
G=11011001	1	G=11011001
B=01110011	1	B=01110011

·	·	·	·	·
·	·	·	·	·

Tabla 2- Inserción de la información aplicando Least Significant Bit (LSB) en una imagen digital en RGB

Pixeles	Infor maci ón	Pixeles Esteganografados
L=1001011	0	L=1001010
·	·	·
·	·	·

Tabla 3- Inserción de la información aplicando Least Significant Bit (LSB) en una imagen digital en escala de grises

Pixeles	Infor maci ón	Pixeles Esteganografados
L=1001011	0	L=1001010
·	·	·
C <sub>b</sub> =101111	1	C <sub>b</sub> =1011111
·	·	·
C <sub>b</sub> =101011	1	C <sub>b</sub> =1010111
·	·	·

Tabla 4- Inserción de la información aplicando Least Significant Bit (LSB) en una imagen digital en YCbCr

Pixeles	Infor maci ón	Pixeles Esteganografados
L=1001011	0	L=1001010
·	·	·
U=1010101	1	U=10101011
·	·	·
V=1010000	1	V=1010001
·	·	·

Tabla 5- Inserción de la información aplicando Least Significant Bit (LSB) en una imagen digital en YUV

Después se procede a reconstruir y convertir la imagen digital según su espacio de color regresando a su estado original.

d. Recuperación de la información

La imagen digital encubierta, realiza el proceso "a", para obtener los pixeles, después se extrae cada Least Significant Bit (LSB), para obtener una cadena binaria, luego procede agrupar los bit en bytes para convertir en decimal, y ubicar el código ASCII para su recuperación.

3.2. Dominio Frecuencial

La técnica, se basa en la investigación [5], donde se hace el ocultamiento de la información en imágenes digitales en escala de grises. La técnica utiliza el método Least Significant Bit (LSB), para el ocultamiento de la información, en los coeficientes AC, en la imagen digital calculada, con la Transformada Discreta de Coseno (DCT).

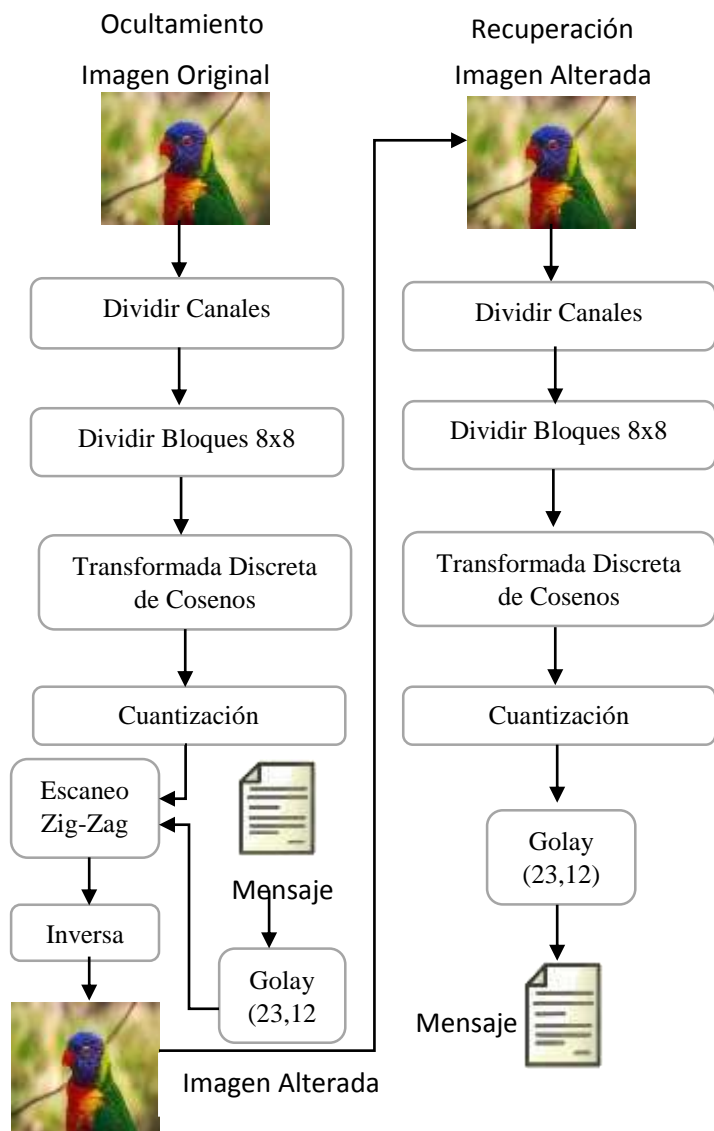


Fig. 9- Ilustración del proceso de ocultamiento y recuperación del mensaje en imágenes digitales aplicando Dominio Frecuencial (DF)

a. Dividir Canales

La imagen digital, se selecciona el espacio de color que desea aplicar, y se procede a dividir en los canales que la componen.

$$Y = Avg(R, G, B) = \frac{R+G+B}{3} \quad (1)$$

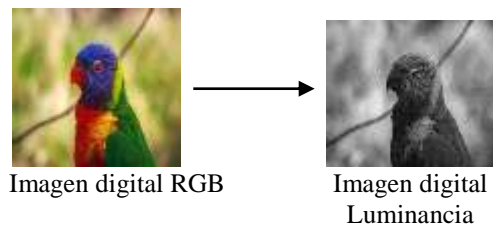


Fig. 10- Convertir la imagen digital RGB en escala de grises dividido en un canal

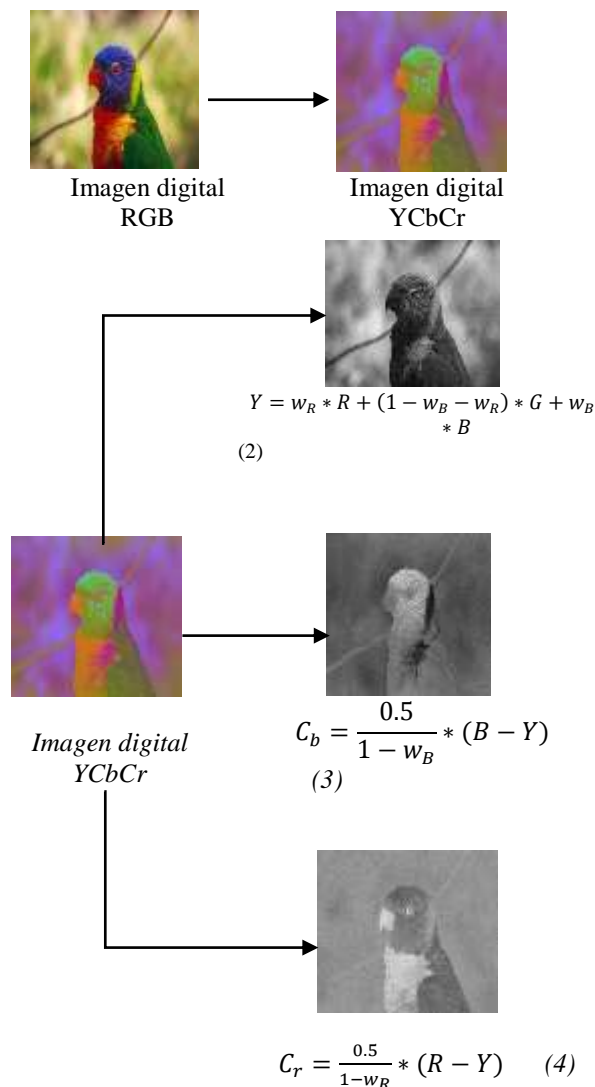


Fig. 11- Convertir la imagen digital RGB en YCbCr dividido en tres canales

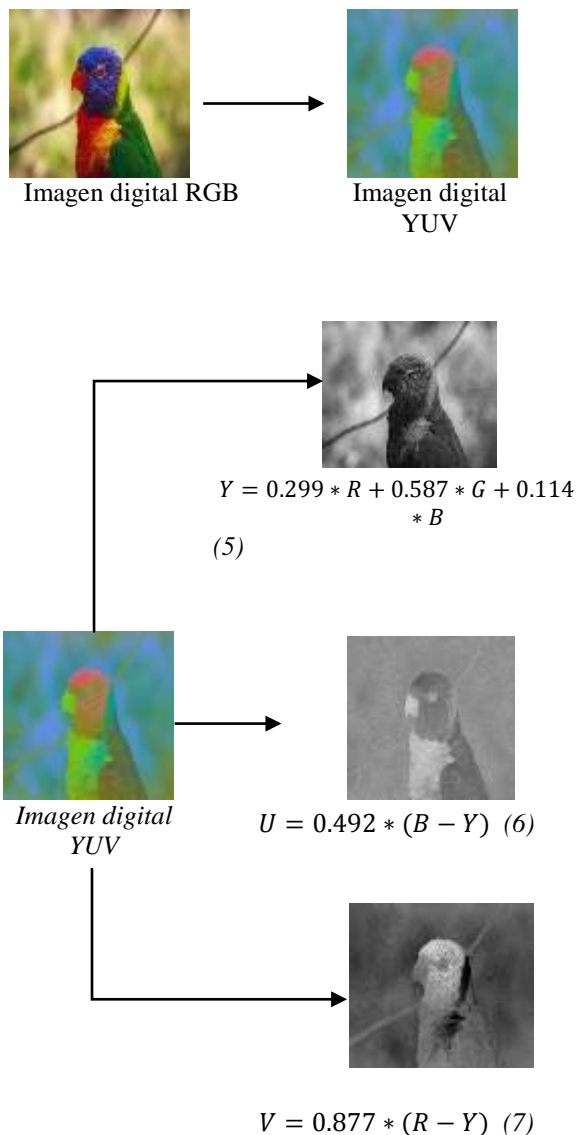


Fig. 12- Convertir la imagen digital RGB en YUV dividida en tres canales

### b. Dividir bloques 8x8

Se procede a dividir la imagen digital en sub-imágenes o bloques 8x8, se hace con el fin de evitar la pérdida de la calidad durante el procesamiento de la imagen.

$$A = (a_{ij})_{m \times n}, \text{ donde } m = n$$

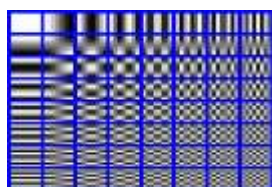


Fig. 13- División de la Imagen Digital en Bloques 8x8

### c. Transformada Discreta de Coseno (DCT)

Se procede a calcular los pixeles de los bloques 8x8 de la imagen digital de cada canal.

$$S(u, v) = \frac{2}{N} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} s(x, y) \cos\left(\frac{\pi u(2x+1)}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi v(2y+1)}{2N}\right) \quad (8)$$

$S(u,v)$  es el valor del coeficiente de la fila "u" y la columna "v", donde sus valores varían de 0 a 7. Para obtener el valor del coeficiente, se procede a ver los coeficientes  $C(u)$  y  $C(v)$  tomando estos valores, cuando u y/o v son iguales a cero, su valor de  $C(u,v)$  es  $\sqrt{\frac{1}{N}}$  y cuando son mayores a cero y menor igual a  $N-1$  su valor es  $\sqrt{\frac{2}{N}}$ , donde N es igual a 8. Las sumatorias de x e y recorren la matrices de 0 a 7, para poder obtener el valor  $S(x, y)$ , que representa el pixel, y se procede a calcular los cosenos, para así obtener el valor del coeficiente, este proceso se repite para todo los pixeles.

### d. Cuantización

Esta fase, se obtiene el mayor número de ceros posibles, para reducir en gran medida la cantidad de información, en los componentes de alta frecuencia y se realiza aplicando esta fórmula:

$$C = \text{round}(FB/ES) \quad (9)$$

FB=Frecuencia del bloque 8x8

ES=Elemento Estándar JPEG

$$B = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} b_{ij}; \text{ donde } 9 < b_{ij} \leq 121$$

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Fig. 14- Matriz Standar JPEG

$$C = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} c_{ij}; \text{ donde } 16 < c_{ij} \leq 99$$

17	18	24	47	66	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	69	56
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

Fig. 15- Matriz JPEG color

Se realiza el mismo proceso para la Crominancia utilizando la Matriz de la Fig. 15

e. Codificación de la Información

El mensaje, se descomponen en caracteres, y se ubica el decimal que le corresponde en el código ASCII, para binarizar. Luego la información binaria pasa por un codificador, aplicando un Código Binario Lineal GOLAY (23,7).

f. Escaneo Zig-Zag

Ordena los coeficientes AC de cada bloque 8x8 de luminancia. Luego se comienza a modificar los 8 primeros coeficientes AC de cada bloque 8x8, con el método Least Significant Bit (LSB) insertando la información codificada.

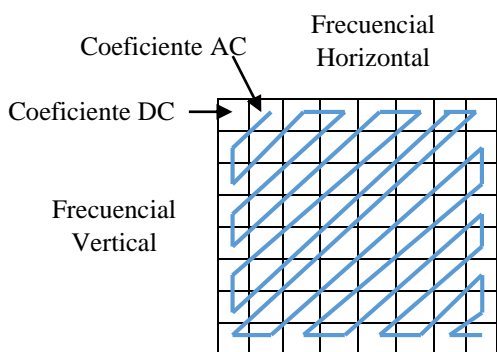


Fig. 16- Ordenamiento en Zig-Zag

g. Inversa

Luego de ordenar los coeficientes AC, se restauran a su posición original. Después se procede a realizar la cuantización, se multiplica las frecuencias del bloque 8x8 de luminancia por la matriz Estándar JPEG y procede también para la crominancia por la matriz JPEG a color. Luego se procede a utilizar la Transformada Inversa Discreta de Coseno (IDCT), para retornar sus valores de antes.

$$s(u, v) = \frac{2}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} C(u)C(v)S(u, v) \cos\left(\frac{\pi u(2x+1)}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi v(2y+1)}{2N}\right) \quad (10)$$

S(u,v) es el valor del pixel de la fila "u" y la columna "v", donde sus valores varían de 0 a 7. Para obtener el valor del coeficiente, se procede a ver los coeficientes C(u) y C(v) tomando estos valores, cuando u y/o v son iguales a cero, su valor de C(u,v) es  $\sqrt{\frac{1}{N}}$  y cuando son mayores a cero y menor igual a

N-1 su valor es  $\sqrt{\frac{2}{N}}$ , donde N es igual a 8. Las sumatorias de x e y recorren la matrices de 0 a 7, para poder obtener el valor S(x, y), que representa el coeficiente, y se procede a calcular los cosenos, para

así obtener el valor del pixeles, este proceso se repite para todos los coeficientes.

Luego se procede a reconstruir la Imagen Digital, y se procede a convertir a su aspecto original dependiendo del espacio de color.

h. Recuperar información

El proceso de recuperación se tiene que aplicar el paso a, b, c, d, e y f, se comienza a extraer la información de los coeficientes AC, aplicando Least Significant Bit (LSB), una vez recuperado la información, se decodifica con el Código Binario Lineal GOLAY (23,7), una vez decodificados los bit, se agrupan en bytes para convertirlos en decimales, y consultar el código ASCII para la reconstrucción del mensaje.

Una vez obtenida las imágenes digitales encubierta de ambas técnicas, pasaran por ciertos procesos para confirmar el grado de imperceptible.

IV. Experimentos

Para evaluar las 2 técnicas, se utilizó un repositorio de imágenes digitales compuesta por 30607 imágenes digitales, de las cuales se evaluaron 41 por cada técnica.

a. Número de Elementos Afectados

$$EA = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N I(X_i, Y_j) \quad (11)$$

Esta medida es el resultado de los elementos afectados en la imagen digital al ocultar un mensaje en los diferentes espacios de color.

Número de elementos afectados en el Dominio Espacial (DE)			
Espacio de color	N	Media	Desviación Standar
Escala de grises	41	1469873,63	921047,537
RGB	41	5256,29	22159,799
YCbCr	41	611693,24	373020,174
YUV	41	581420,73	377593,917

Tabla 6- Número de Elementos Afectados en el Dominio Espacial (DE)

Número de elementos afectados en el Dominio Frecuencial (DF)			
Espacio de color	N	Media	Desviación estandar
Escala de grises	41	1431408,32	910779,247
YCbCr	41	1172631,63	745480,934
YUV	41	1172213,02	738650,686

Tabla 7- Número de Elementos Afectados en el Dominio Frecuencial (DF)

En las tablas 6 y 7, se observa que entre espacios de color en ambas técnicas el que posee menos elementos afectados es en la tabla 6. El Dominio

Espacial (DE) en RGB tiene menos elementos afectados, con una desviación estándar de 22159.799 en comparación a los demás espacios de color.

b. Numero de caracteres erróneos

$$CE = \sum_{i=0}^n c(X_i) \quad (12)$$

Esta medida es el resultado de los caracteres erróneos al recuperar el mensaje de la imagen digital encubierta.

Numero de caracteres erróneos en el Dominio Espacial (DE)			
Espacio de color	N	Media	Desviación estandar
Escala de grises	41	0	0
RGB	41	0	0
YCbCr	41	57,46	187,379
YUV	41	28,63	75,635

Tabla 8- Número de caracteres erróneos en el Dominio Espacial (DE)

Numero de caracteres erróneos en el Dominio Espacial (DE)			
Espacio de color	N	Media	Desviación estandar
Escala de grises	41	58,59	244,958
YCbCr	41	80,20	251,858
YUV	41	122,10	291,112

Tabla 9- Número de caracteres erróneos en el Dominio Frecuencial (DF)

En las tablas 8 y 9, se observa que entre espacio de color en ambas técnicas el que tiene menos elementos afectados es en la tabla 8. El Dominio Espacial (DE) en escala de grises y RGB, tiene menos caracteres erróneos con una desviación estándar de 0.

c. Detección Visual

Los resultados de la Detección Visual de las imágenes digitales, fueron clasificados por el grado de imperceptibilidad a través del ojo humano.

Clasificación por el grado de imperceptibilidad en el Dominio Espacial (DE)			
Espacio de color	N	Media	Desviación Standar
Escala de grises	41	2,00	0
RGB	41	2,00	0
YCbCr	41	2,00	0
YUV	41	2,00	0

Tabla 10- Clasificación por el grado de imperceptibilidad en el Dominio Espacial (DE)

Clasificación por el grado de imperceptibilidad en el Dominio Frecuencial (DF)			
Espacio de color	N	Media	Desviación estandar
Escala de grises	41	1,39	,771
YCbCr	41	1,37	,829
YUV	41	1,27	,837

Tablas 11- Clasificación por el grado de imperceptibilidad en el Dominio Frecuencial (DF)

En las tablas 10 y 11, se observa que entre espacios de color en ambas técnicas el que tiene mayor grado de imperceptibilidad con valores entre 0 a 2, donde 0 es bajo, 1 es medio y 2 es alto, es la tabla 10. El Dominio Espacial (DE), en todos los espacios de color aplicados, tiene una media de clasificación 2, siendo así el mayor grado imperceptibilidad.

d. Fidelidad de la Imagen

$$FI = 1 - \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (I(m,n) - \hat{I}(m,n))^2}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I(m,n)^2} \quad (13)$$

Esta medida es el resultado de la fidelidad de la imagen digital al camuflar un mensaje, alterando el aspecto de la imagen digital.

Porcentaje de fidelidad de la imagen digital en el Dominio Espacial (DE)			
Espacio de color	N	Media	Desviación estandar
Escala de grises	41	90,7463	8,14855
RGB	41	99,9985	,00358
YCbCr	41	99,9473	,26387
YUV	41	99,9485	,26390

Tablas 12- Porcentaje de fidelidad de la imagen digital en el Dominio Espacial (DE)

Porcentaje de fidelidad de la imagen digital en el Dominio Frecuencial (DF)			
Espacio de color	N	Media	Desviación estandar
Escala de grises	41	90,0978	8,20693
YCbCr	41	97,1361	10,74432
YUV	41	96,6239	11,03911

Tabla 13- Porcentaje de fidelidad de la imagen digital en el Dominio Frecuencia (DF)

En las tablas 12 y 13, se observa que entre espacios de color en ambas técnicas, el que tiene un mayor porcentaje de fidelidad en imágenes digitales, es la Tabla 12. En el Dominio Espacial (DE), se puede considerar que, aplicados en los espacios de color RGB, YCbCr e YUV, su fidelidad es mayor en 99%, comportándose de manera estable. Por otro lado, en



la escala de grises, se considera estable, a pesar que su fidelidad es del 90.75%.

## V. Conclusiones

Después de las pruebas realizadas, se determinó que, la técnica más eficiente en el grado de imperceptibilidad- que no varían en gran cantidad el aspecto de la imagen a pesar de la modificación de sus píxeles - es la técnica de Dominio Espacial (DE), el cual obtuvo una fidelidad en escala de grises del 90.75%, y en RGB, YCbCr e YUV no menores del 99%; y obtuvo un grado de imperceptibilidad de clasificación 2 en todos los espacios de color aplicados.

En un futuro, se explorara el uso de la esteganografía en otros portadores digitales tales como audio y video, para ver el grado de percepción auditiva y visual.

## Agradecimiento

Agradecimientos al Dr. Julio Cesar López Hernández quien a pesar de la distancia nos brindó apoyo.

## Bibliografía

- [1] L. Daniel y M. David << Esteganografía en zonas ruidosas de la imagen >> [Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona- España], 2014
- [2] A. Carlos, O. Sandra y B. Luis <<UNA MIRADA A LA ESTEGANOGRAFIA>> [Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia], 2007
- [3] O. Carlos, V. Rubén y S. Arturo << Esteganogramas en BMP's >> [INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, México D.F], 2005.
- [4] L. Julio, V. Carlos, N. Mariko y P. Héctor << Algoritmo Esteganográfico Robusto a Compresión JPEG Usando DCT >> [Instituto Politécnico Nacional, México D.F], 2013.
- [5] M. Nils, C. Fredy e V. Ivan << Método Esteganográfico usando Recorrido de Grafos en Imágenes>> [Universidad Nacional de Trujillo, Perú], 2014