

# Análisis de los parámetros críticos para la inserción de marca de agua en el dominio DCT aplicado en imágenes tanto a color como en escala de grises

Luis Efrén Bollain y Goytia Meza  
Mariko Nakano Miyatake  
Héctor M. Pérez Meana

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación (SEPI),  
ESIME, "Unidad Culhuacán",  
Instituto Politécnico Nacional (IPN).  
Av. Santa Ana 1000, Ed. 2, tercer piso,  
Col. San Francisco Culhuacán, CP 04430,  
México, DF.  
MÉXICO

Tel. (525) 656 2058

email: efrengoytia@hotmail.com  
mariko@calmecac.esimecu.ipn.mx  
hmpm@calmecac.esimecu.ipn.m

Recibido el 22 de enero de 2004; aceptado el 29 de junio de 2004.

## 1. Resumen

Una tarea muy común en la actualidad, es intercambiar información utilizando distintas redes de comunicaciones, como Internet, ya que un gran número de personas tienen acceso a ésta a nivel mundial. Sin embargo, con esta red la violación de los derechos de autor sobre el material digital, como imágenes digitales, sonido digital y video, se vuelve un problema muy serio que causa pérdidas económicas y afecta a los autores de dicho material. Las marcas de agua son una alternativa viable para proteger los derechos de autor del propietario. A pesar de existir varias técnicas de inserción de marcas en el material digital, se requiere determinar los parámetros óptimos para poder realizar una inserción adecuada. En este artículo se analiza un algoritmo adaptivo de inserción aplicado a la imagen completa en el dominio DCT (*Discrete Cosine Transform*) junto con algunos parámetros críticos para la inserción de la marca, como la posición de inserción, el tamaño de la marca y el factor de ganancia para obtener una mejor imagen marcada desde el punto de vista de imperceptibilidad y robustez, así como también las

diferencias existentes entre las imágenes de color y las de escala de grises, antes, después y durante la inserción.

## 2. Abstract (Analysis of the Critical Parameters for the Watermark Insertion in the DCT Domain Applied in Color as well as Gray Level Images)

Nowadays, a very common task is the information interchange using different networks, like the Internet. It's known that a large number of people have access to it. However, with this network, copyright violation on digital material (digital sound, digital images and video) becomes into a serious problem which causes economical losses affecting the authors of this material. Watermarks are a viable alternative for protecting the owner's copyright. Although of existing several techniques of watermark insertion on digital material, it's required to determine the optimum parameters in order to do a correct insertion. In this paper, it is analysed an adaptive algorithm of insertion applied into a full frame image on DCT (Discrete Cosine Transform) domain beside some critical parameters for watermark insertion, as position of watermark, watermark size and gain factor to get a better watermarked image from the point of view of imperceptibility and robustness. In addition we can see the difference between color images and gray scale images before, after and during the insertion.

**Palabras clave:** marcas de agua, DCT, enmascaramiento visual, detección de marca de agua, inserción de marca de agua.

## 3. Introducción

Es bien conocido que actualmente las redes de comunicaciones son utilizadas para transferir información, gracias a esto su desarrollo y aplicaciones crecen enormemente día con día. Tienen un gran campo de aplicaciones, una tarea muy importante que tienen es la de distribuir información de manera masiva y mundial, como Internet. Sin duda alguna, Internet es la red pública más usada en la actualidad y por lo tanto puede llegar a ser peligroso tanto el envío como la publicación de información mediante el uso de ésta u otras redes locales, ya que al estar expuesta la información en la red, cualquier persona que tenga acceso a ella puede copiarla de cualquier manera y hacer uso indebido de esta información, violando así los derechos de

autor. Debido a esta gran problemática, surge como una propuesta viable para evitar dichas violaciones, el uso de marcas de agua digitales, las cuales se insertan en la información a transmitir (video, imágenes, sonido) buscando con ello poder detectar al dueño de la información, a los creadores e incluso a los distribuidores autorizados. Sin embargo, al insertar una marca de agua digital en la información, no es una garantía de que se podrá detectar siempre de manera correcta la marca insertada y con ella al autor, ya que el material digital puede verse afectado de manera intencional (en el caso de imágenes puede ser la eliminación parcial de información, escalamiento, etc.) o no intencionales (igualmente en imágenes podemos mencionar adición de ruido, compresión JPEG, etc.). En algunos casos, al momento de realizar la detección, puede presentarse un falso positivo, que es cuando otros valores de correlación que no fueron utilizados como llave, sobrepasan el valor del umbral, es decir, se detecta la presencia de otras marcas que no fueron insertadas; el otro caso que puede presentarse es aquel en el que se tiene la noción de la existencia de una marca de agua, sin embargo no se detecta, a esto se le llama falso negativo. Por estas razones al elegir el algoritmo a emplear para la protección del material se deben de tomar en cuenta los posibles ataques que pueden alterar la marca de agua insertada y con esto tener una mayor seguridad de que la detección podrá realizarse de manera satisfactoria a pesar de los ataques que reciba el material. Desde luego, algunos ataques pueden distorsionar tanto la imagen, que tal vez ni siquiera ya al mismo autor le interesará reclamar la propiedad de dicho material.

Los experimentos realizados se aplicaron en imágenes digitales (de color y escala de grises). Lo que se busca con este artículo es determinar los parámetros críticos que ayudan a obtener una imagen que no se distorsione después de la inserción de la marca, es decir, que no pierda su valor comercial y además que la marca de agua insertada sea robusta ante cualquier tipo de ataque; esto se logra eligiendo de manera correcta los parámetros críticos de inserción: posición ( $L$ ), factor de ganancia ( $\hat{a}$ ) y tamaño de la marca de agua ( $M$ ).

#### 4. Desarrollo

Las marcas de agua digitales pueden ser vistas como una señal ajena a la información pero añadida a ésta, es decir, se agrega un código de identificación con el cual se podrá obtener la información que nos interesa, como por ejemplo los derechos de autor. Para conservar su utilidad las marcas de agua deberán cumplir con ciertos requisitos: ser imperceptibles al ojo humano, fáciles de detectar usando un algoritmo detector, cuyo uso sea relativamente simple para poder comprobar la propiedad, ser robusta ante cualquier tipo de ataques; la detección de la marca de agua del propietario debe ser notoria con respecto a las de otros (impostores) que traten de comprobar la propiedad de la

información (no ambigua); se tendrá la posibilidad de poder generar una gran cantidad de marcas e insertarlas en la información (innumerable).

Existen principalmente dos maneras de realizar la inserción de una marca de agua: una es en los valores de intensidad de luminancia en el dominio espacial [1], o bien, en los coeficientes del dominio de algún tipo de transformada (DCT, DFT, *wavelet*) [2-8]. En lo que respecta a la detección, existen algunos algoritmos que para detectar la marca de agua tienen que hacer uso de la imagen original y la imagen marcada [3], lo cual tiene un límite, ya que no siempre es posible contar con la imagen original y por lo tanto se dificultaría o incluso impediría la detección de la marca de agua. El algoritmo de detección descrito en este artículo no requiere del uso de la imagen original para poder detectar la marca de agua, y no importa que la imagen esté alterada, de lo cual hay un porcentaje muy alto que lo esté. También se aprovechan las características del sistema visual humano (HVS–*Human Visual System*) las cuales ayudan a poder insertar con mayor fuerza la marca de agua y además no hacerla tan perceptible.

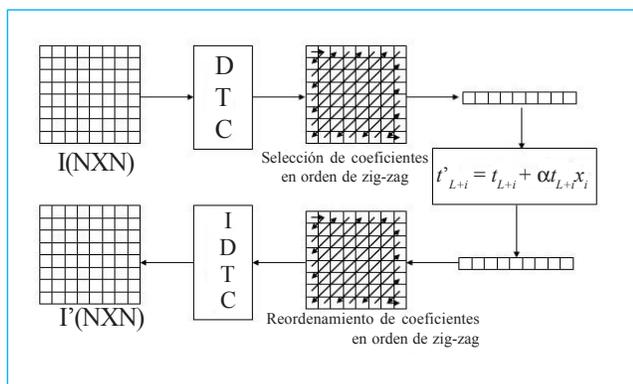
El algoritmo de inserción, que es el objeto de estudio de este artículo, tiene las siguientes características: opera en el dominio de la frecuencia utilizando la transformada discreta del coseno (DCT–*Discrete Cosine Transform*), dicha transformada se realiza a la imagen completa (*full frame*) y no por bloques como en otros algoritmos [3] y [4]; el algoritmo de inserción de la marca de agua explota las características del sistema visual humano, mientras que la extracción se lleva a cabo sin tener que hacer uso de la imagen original. Lo que se busca en este artículo es comprobar la robustez del método propuesto (aplicado a imágenes), al realizar ataques (compresión JPEG, recortes, escalamiento y adición de ruido impulsivo) a las imágenes marcadas y además realizar un análisis de la selección de parámetros que se utilizan en el algoritmo (posición, tamaño de la marca de agua y fuerza) para determinar cómo se ve afectada la imagen al momento de realizar la detección.

#### 4.1 Algoritmo utilizado

Se propone el uso de una marca de agua que consiste de una secuencia de  $M$  números reales pseudo-aleatorios  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ ; donde cada valor  $x_i$  para  $i = 1, \dots, M$  va a tener una distribución normal estándar, es decir, su valor medio es igual o aproximadamente 0 y su varianza es igual a 1. Por lo tanto  $X$  será el código de identificación que se va a insertar [7] y [8].

##### 4.1.1 Proceso de inserción

Para realizar la inserción de la marca de agua se necesita de la imagen original  $I$  de tamaño  $N \times N$ , a la cual se le aplica la



**Fig.1.** Diagrama de bloques del proceso de inserción de la marca de agua en una imagen.

transformada discreta del coseno a la imagen entera. Una vez que se transformó la imagen al dominio de la frecuencia, se toman los coeficientes obtenidos en orden de zigzag y de éstos se seleccionan los primeros  $L + M$  coeficientes para generar un vector  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_L, t_{L+1}, \dots, t_{L+M}\}$ . Se omiten los primeros  $L$  coeficientes dependiendo de la invisibilidad y robustez que le queramos dar a la imagen, y desde el elemento  $L + 1$  hasta el elemento  $L + M$  se inserta el patrón pseudo-aleatorio  $X$  para obtener un nuevo vector  $T' = \{t_1, t_2, \dots, t_L, t'_{L+1}, \dots, t'_{L+M}\}$  de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$t'_{L+i} = t_{L+i} + \alpha |t'_{L+i}| x_i \quad i = 1, \dots, M. \quad (1)$$

Posteriormente se reinserta el vector  $T'$  en orden de zigzag, se aplica la transformada inversa discreta del coseno para obtener nuestra imagen con marca de agua  $I'$ . La figura 1 muestra el proceso de inserción de marca de agua.

#### 4.1.2 Enmascaramiento visual

Con el fin de lograr que la marca de agua pueda ser más robusta y menos visible, se toman en cuenta las características del sistema visual humano con las que se pueden obtener los factores de peso (máscara) que ayudarán a obtener una imagen con dichas características (figura 2). Lo que se necesita es sumar las imágenes  $I$  e  $I'$  pixel por pixel en su totalidad de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$y''_{ij} = y_{ij}(1 - \beta''_{ij}) + \beta''_{ij} y'_{ij} = \beta_{ij} (y'_{ij} - y_{ij}) \quad (2)$$

Donde  $\beta_{ij}$  va a ser la máscara que determinará las regiones de inserción,  $y_{ij}$  son los valores de los pixeles de la imagen original, en tanto que  $y'_{ij}$  son los valores de los pixeles de la imagen marcada; en regiones que son poco sensibles al ruido se puede



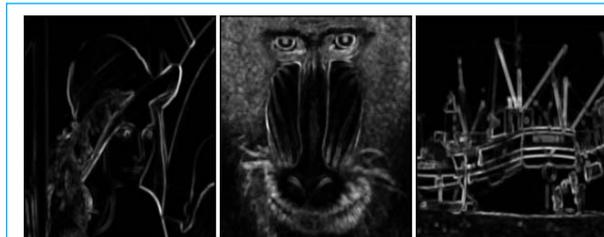
**Fig. 2.** Diferencia visual entre la imagen de Lena sin aplicar el enmascaramiento visual (derecha) y aplicando el enmascaramiento (izquierda).

insertar la marca de agua con mayor fuerza, ya que se tiene que  $\beta_{ij} \sim 1$ , por lo tanto  $y''_{ij} \sim y'_{ij}$ ; en regiones que son más sensibles al ruido no se puede insertar con tanta fuerza porque sería muy notorio, en este caso se tiene que  $\beta_{ij} \sim 0$ , por lo tanto  $y''_{ij} \sim y_{ij}$ . Haciendo uso de este tipo de máscaras se permite incrementar el factor de ganancia á sin comprometer la invisibilidad de la marca, que es un requisito fundamental.

Una manera de seleccionar los factores de peso  $\beta_{ij}$  se logra realizando un ventaneo de  $R \times R$  en la imagen original, donde la ventana está centrada en el pixel  $x, y$ ; se calcula la varianza local de cada ventana con base en la siguiente fórmula:

$$\beta_{x,y} = \frac{1}{M_{\max}} \sum_{i,j \in w} [I(i,j) - \mu_w]^2 \quad (3)$$

Donde  $\mu_w$  es el valor promedio de la ventana y  $M_{\max} = \max(m,n) M\sigma(m,n)$ , que es el valor de la varianza máxima encontrada en la imagen completa. Con esto se obtiene la máscara necesaria para lograr la nueva imagen marcada  $I''$ .



**Fig. 3.** Diferentes máscaras obtenidas de las imágenes de Lena (izquierda), el mandril (en medio) y la de los barcos (derecha); todas estas imágenes en escala de grises.

### 4.1.3 Proceso de detección

En este proceso se recibe una imagen  $I^*$  sabiendo que probablemente pudo haber sido alterada; se le aplica la transformada discreta del coseno a la imagen de  $N \times N$  y se reordenan los coeficientes en orden de zigzag; desde el coeficiente  $L + 1$  hasta el coeficiente  $L + M$  se seleccionan para generar el vector  $T^* = \{t_{L+1}^*, t_{L+2}^*, \dots, t_{L+M}^*\}$ , con este vector se aplica la fórmula de correlación que determinará si la marca está presente o no. La fórmula de correlación entre los coeficientes DCT con un posible patrón pseudo-aleatorio  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ , se define por:

$$z = \frac{Y \cdot T^*}{M} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i t_{L+i}^* \quad (4)$$

Para determinar que el patrón  $Y$  está detectado efectivamente, el valor de correlación  $z$  se compara con un valor de umbral  $S_z$ . La fórmula que se aplica para el cálculo del umbral en la imagen marcada es:

$$S_z = \frac{\bar{\alpha}}{3M} \sum_{i=1}^M |t_i^*| \quad (5)$$

Esta fórmula calcula un valor de manera que la probabilidad de error (falso positivo y falso negativo) sea mínima cuando la imagen marcada sea alterada por ataques [9]. Para el cálculo  $\alpha$  de  $\bar{\alpha}$  se propone la siguiente ecuación:

$$\bar{\alpha} = \alpha \bar{M} \quad (6)$$

donde  $\bar{\alpha}$  es el valor promedio de la máscara utilizada. Con base en esto, se debe escoger un valor  $\alpha$  de manera que se obtenga un valor  $\alpha = 0.2$ , ya que con esto se logra que no haya una degradación visual en la imagen [7] y [8].

### 4.2 Diferencias entre las imágenes a color y las imágenes en escala de grises

Es bueno saber qué diferencias existen entre las imágenes de color y las imágenes en escala de grises.

Las imágenes en escala de grises están representadas por una matriz cuyos valores van desde 0 hasta 1. En imágenes a color se tiene la diferencia de que para una imagen en formato RGB (*Red Green Blue* – rojo verde azul) la imagen está representada por tres matrices, donde cada una es la matriz

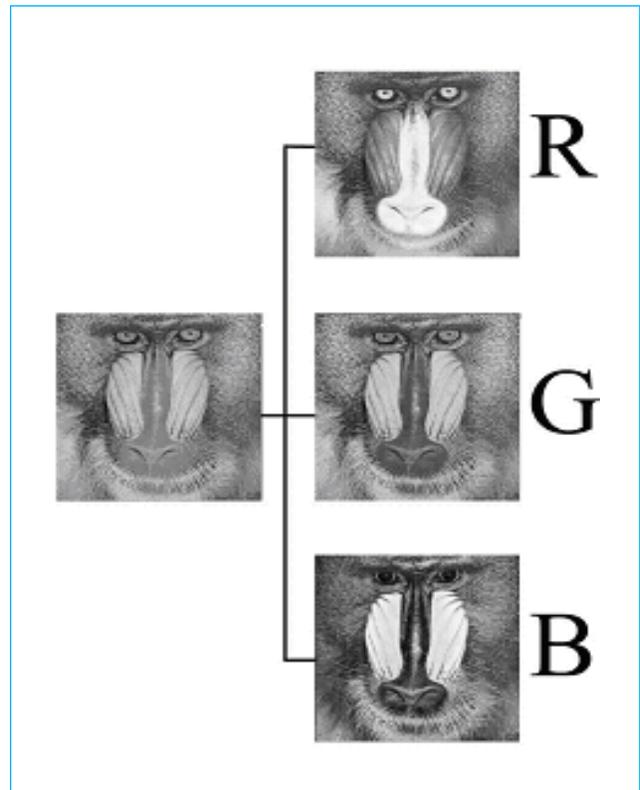


Fig. 4. Componentes de una imagen a color.

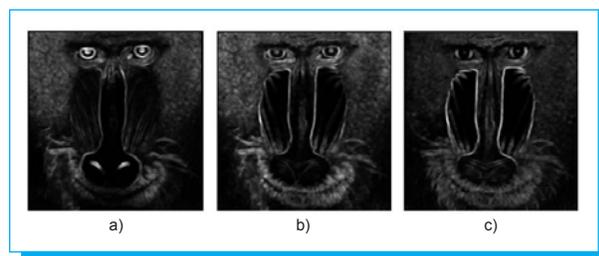
correspondiente a cada mapa de color que conforma a la imagen (figura 4).

#### 4.2.1 Inserción en imágenes en escala de grises

Para realizar la inserción en este tipo de imágenes, se le aplica a la única matriz de valores de intensidad que se tiene, es decir, aquella en la que los valores en cada pixel tienen valores entre 0 y 1, incluyéndose estos valores. Los cuales determinan la tonalidad de gris para cada pixel; donde 1 representa el color blanco y el 0 el color negro.

#### 4.2.2 Inserción en imágenes a color

Al estar compuestas por tres mapas de color (RGB), se tiene que elegir uno de estos tres mapas para poder realizar la inserción. La elección del mapa de color azul es el más recomendable, debido a que con base en las características del sistema visual humano, se hace menos perceptible para el ojo humano [12]. Cabe mencionar que las máscaras que se obtienen, son diferentes para cada mapa de color, como se muestra en la figura 5.



**Fig. 5.** Máscaras obtenidas de la imagen a color del mandril. a) Máscara del mapa de color rojo; b) Máscara del mapa de color verde, y c) Máscara del mapa de color azul.

Una vez elegido el mapa de color sobre el que se va a trabajar, se tiene que normalizar la matriz del mapa del color elegido para que en dicha matriz se obtengan valores que vayan desde 0 hasta 1, al igual que en una imagen en escala de grises. En el caso de una imagen de 256 colores, se dividiría cada uno de los valores de la matriz entre 255.

Cuando se ha obtenido la matriz normalizada, se tiene entonces la matriz sobre la cual se aplica el algoritmo de inserción de igual manera que en las imágenes en escala de grises.

Para obtener la imagen marcada se tiene que regresar la matriz del mapa de color en la que se insertó la marca a valores desde 0 hasta 255. Por último, se conjuntan los tres mapas de color y con ello se obtiene la imagen a color marcada.

### 4.3 Análisis de los parámetros utilizados en el algoritmo

Una vez conocido el método de inserción del algoritmo, debemos analizar cuáles son los puntos vitales para poder obtener resultados óptimos y útiles, con la finalidad de que podamos detectar el código de identificación insertado. En este artículo se busca proponer diferentes valores para poder analizar los cambios que se presentan tanto en los resultados de detección como en la visibilidad de la imagen tras diferentes tipos de ataques como son: compresión JPEG, escalamiento de la imagen, recorte (figura 6) y adición de ruido. Los resultados obtenidos por simulación computacional muestran la imperceptibilidad y robustez de la imagen marcada de acuerdo a la posición de inserción ( $L$ ), el tamaño ( $M$ ) y la fuerza ( $\alpha$ ) de la marca de agua, y dependerán de la varianza promedio de cada imagen a la que se aplica el algoritmo.

#### 4.3.1 La máscara y el factor de ganancia ( $\alpha$ )

Es de gran importancia analizar la máscara que se utiliza en las imágenes y, con base en ella, obtener la varianza promedio de la imagen ( $M$ ), con esto se puede saber qué tan plana o qué

**Tabla 1.** Valores del factor de ganancia ( $\alpha$ ) y varianza promedio de la imagen original calculados para cinco imágenes de prueba.

Imagen	Tamaño	$\bar{\alpha}$	$\alpha$	$\bar{M}$
Lena	512 x 512	0.2	4.85	0.0412
Mandril	512 x 512	0.2	1.31	0.1521
Barcos	512 x 512	0.2	2.34	0.0852

tan detallada es y, por lo tanto, saber en qué zonas se podrá insertar con mayor fuerza la marca de agua y en cuáles tendrá que ser débil. Tras el análisis de esta información se puede proponer de una manera más adecuada el factor de ganancia ( $\alpha$ ). Si se propone que el valor de  $\bar{\alpha}$  sea igual a 0.2 con el fin de que no ocurra una distorsión, entonces calculamos el valor de  $\alpha$  utilizando la ecuación (6):

$$\alpha = \frac{\bar{\alpha}}{M} = \frac{0.2}{M} \quad (7)$$

Haciendo uso de la ecuación (7) se calculó el valor de  $\alpha$  para diferentes imágenes (tabla 1). Es notorio que una imagen con varianza mayor tiene un gran número de zonas menos sensibles al ruido, y por lo tanto se puede utilizar un valor de  $\alpha$  mucho mayor sin afectar la integridad visual de la imagen, sin embargo, a pesar de poder insertar con más energía la marca de agua, en la tabla se aprecia que tiene un valor más bajo que las imágenes que tienen una varianza menor. En imágenes con una varianza menor no se puede incrementar demasiado el valor de  $\alpha$  por ser aquellos más sensibles. Esto se debe a que mientras más detallada sea la imagen de acuerdo a la máscara que se obtiene, los valores se aproximan más a la imagen con la marca de agua, pero cuando el valor de varianza es menor, entonces los valores se aproximan más a la imagen original, es decir, como si no se estuviera realizando ninguna inserción y por eso se requiere de un factor de ganancia mayor, pero que no sea tan grande para distorsionar la imagen.

En la figura 3 se observan las distintas máscaras obtenidas de las imágenes de Lena, del mandril y del barco; las zonas menos sensibles al ruido son aquellas que se denotan por los píxeles con una tonalidad más clara en la máscara. Como se puede apreciar en la figura 3, y observar los valores obtenidos (tabla

**Tabla 2.** Resultados de detección al modificar la fuerza ( $\alpha$ ) con que se insertó la marca de agua en la imagen de Lena tras haber sido atacada;  $L = 25\ 000$  y  $M = 16\ 000$ .

$\alpha$	Ataques realizados											
	JPEG (%)				Recorte		Reducción (%)			Ruido (%)		
	75	50	25	10	1	2	80	60	40	25	50	75
2.4	Sí	Sí	Falso +	Falso +	Falso +	Falso +	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
8.0	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No

1), podemos ver que en la imagen del mandril se puede llegar a utilizar un factor de ganancia más grande, debido a que esta imagen tiene una varianza mayor, es decir, contiene un gran número de detalles con respecto a otras, mientras que la imagen de Lena es la que se ve más afectada al querer insertar un valor  $\alpha$  mayor debido a que tiene un menor número de zonas detalladas.

### 4.3.2 Fuerza de la marca de agua

Una vez calculados los valores de  $\alpha$  (tabla 1) utilizando la ecuación (7) y proponiendo el valor de  $\bar{\alpha}$  igual a 0.2, se realizaron diferentes ataques a la imagen marcada: compresión JPEG al 75, 50, 25 y 10 %; escalamiento al 80, 60 y 40 % (en algunos casos este último no se pudo realizar), recortar parte de la imagen (figura 6); adición de ruido impulsivo uniforme con una densidad del 25, 50 y 75 % (figura 7). Una vez



**Fig. 6.** Eliminación de información de la imagen original de Lena; la parte marcada en color negro (borde) representa la parte eliminada de la imagen muestra; imagen equivalente al ataque de recorte 1 (a) e imagen correspondiente al ataque de recorte 2 (b).

realizados los ataques se intentó detectar la marca de agua aplicando el algoritmo de correlación comparando entre mil patrones pseudo-aleatorios posibles. Se propusieron distintos valores de  $\alpha$  para comparar las diferencias al obtener los resultados para la imagen marcada de Lena que se muestran en esta tabla. Como se puede apreciar en la tabla 2, cuando el valor de  $\alpha$  disminuye, no se logra detectar la marca de agua en todas las pruebas, asimismo se observa que en cuatro casos se detecta un falso positivo. Por el contrario, cuanto más grande es el valor de  $\alpha$ , se logra detectar en un mayor número de pruebas.

En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos del umbral y de los valores de correlación que pertenecen a la marca de agua de las imágenes atacadas, de los cuales se mostraron los resultados de detección en la tabla 2.

De las tablas 3 y 4 se puede observar que al incrementar el valor de  $\alpha$  se obtiene una mayor robustez. Como ya se ha mencionado, el valor de  $\alpha$  no puede ser muy grande o distorsionará la imagen. Otro aspecto es el hecho de que al agregar ruido a la imagen se ve afectado el patrón pseudo-aleatorio, con esto el valor del umbral se va incrementando conforme se añade más ruido, pero no así el valor de correlación.

### 4.3.3 Posición de la marca de agua

Otro aspecto interesante dentro de la inserción es decidir la posición de la marca de agua. Cuando insertamos la marca de agua en la zona de frecuencias más bajas (figura 8 - izquierda) obtendremos una imagen marcada más robusta, sin embargo, se hace más notoria la inserción de la marca en la imagen debido a que se distorsiona más la imagen. Por otro lado, si se inserta en frecuencias más altas (figura 8 - derecha) no se ve tan afectada por distorsión, pero la imagen será más sensible a cualquier ataque con la posibilidad de perder el código de identificación (marca de agua) tras cualquier tipo de ataque.



**Fig. 7.** Ejemplos de adición de ruido impulsivo a la imagen de Lena con una densidad del 25 % (izquierda), 50 % (centro) y 75 % (derecha).

**Tabla 3.** Resultados obtenidos al detectar la marca de agua cuando se realizó una compresión JPEG y cuando se recortó parte de la imagen de Lena marcada.

Lena (512 x 512) $L = 25000$ $M = 16000$		Ataques					
		JPEG				Recorte	
		75 %	50 %	25 %	10 %	1	2
$\alpha = 2.4$	Umbral	0.0018	0.0017	0.00170	0.0017	0.0018	0.0018
	Valor de correlación	0.0048	0.0038	0.0035	0.0021	0.0028	0.0028
$\alpha = 8.0$	Umbral	0.0065	0.0064	0.0063	0.0061	0.0068	0.0065
	Valor de correlación	0.0167	0.0150	0.0136	0.0088	0.0133	0.0114

Realizando pruebas en la imagen de Lena al insertar la marca de agua en posiciones distintas se logró obtener los resultados que se muestran en las tablas 4 y 5.

De la tabla 5 podemos apreciar cómo se obtiene un mayor número de detecciones satisfactorias cuando se coloca la marca en frecuencias bajas, ya que en esa zona es menos susceptible a los ataques; en las frecuencias altas se aprecia que se obtiene un menor número de detecciones cuando se realizan ataques,

además de que no hay distorsiones en la imagen o al menos no son tan notorias como cuando se coloca en frecuencias bajas.

Un problema que se encontró al escalar una imagen, fue que para poder aplicar el algoritmo de detección se requiere tener una imagen de al menos  $L + M$  píxeles totales en la imagen, así que cuando se escaló la imagen de Lena tras haber aplicado los valores del tercer caso de la tabla 5 ( $L = 50\ 000$ ), se requerían de al menos 66 000 píxeles en toda la imagen, pero al escalarla al 40 % ya no se contaba con esa cantidad de píxeles y por lo tanto, el algoritmo de correlación ya no se podía efectuar al no contar con el número de píxeles adecuado (al menos 66 000).

Los valores que se obtuvieron para estas pruebas de posición de la marca de agua se muestran en las tablas 6 y 7.

**Tabla 4.** Resultados de los valores del umbral y de correlación obtenidos cuando: se escaló la imagen, se agregó ruido impulsivo uniforme y no se realizó ningún ataque a la imagen de Lena marcada.

Lena (512 x 512) $L = 25000$ $M = 16000$		Ataques				
		Reducción		Ruido		sin ataque
		80 %	60 %	25 %	50 %	
$\alpha = 2.4$	Umbral	0.0012	0.0008	0.0026	0.0042	0.0017
	Valor de correlación	0.0032	0.0019	0.0056	0.0054	0.0049
$\alpha = 8.0$	Umbral	0.0043	0.0030	0.0091	0.0142	0.0063
	Valor de correlación	0.0112	0.0069	0.0166	0.0180	0.0168

#### 4.3.4 Tamaño de la marca de agua

Elegir el tamaño es un aspecto importante, ya que puede crear conflictos al escalar una imagen y después querer detectar en esa imagen la marca de agua. Es una buena idea si al momento de insertar dicha marca de agua se piensa en qué tanto se puede llegar a reducir la imagen y ser útil para cualquier persona, así se podrá seleccionar tanto el tamaño de la marca de agua como la posición, ya que como se mencionó anteriormente, se requieren de al menos  $L + M$  píxeles para poder aplicar el algoritmo, o de lo contrario no se puede ni siquiera intentar la detección de la marca de agua insertada.



**Fig. 8.** Posición de la marca de agua insertada en la región de frecuencias bajas (izquierda) y en frecuencias más altas (derecha).

**Tabla 5.** Resultados de detección de la marca de agua al modificar la posición ( $L$ ) en la que se insertó la marca de agua en la imagen de Lena al haber realizado diferentes ataques;  $\alpha = 4.8$  y  $M = 16\ 000$  (Sí = se logró detectar la marca de agua, No = marca de agua no detectada, X = el algoritmo de detección no se pudo aplicar).

L	Ataques Realizados											
	JPEG (%)				Recorte		Reducción (%)				Ruido (%)	
	75	50	25	10	1	2	80	60	40	25	50	75
10000	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
50000	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	X	Sí	No	No

Dentro de las pruebas que se realizaron se observó que visualmente no hay distorsiones al incrementar el tamaño de la marca de agua utilizando el mismo factor de ganancia y que tampoco se logra obtener un mayor número de pruebas satisfactorias; sin embargo, se puede decir que al tener un mayor número de valores se logra obtener una gráfica de esta correlación más exacta y definida. Los valores obtenidos de correlación que no corresponden a la marca de agua están más abajo del valor del umbral mientras más grande es el patrón pseudo-aleatorio. Esto es útil cuando existen demasiados valores que no pertenecen a la llave cerca del valor del umbral. En la tabla 8 se muestran los resultados de las pruebas realizadas.

**Tabla 6.** Valores del umbral y de correlación obtenidos al modificar la posición de la marca de agua y posteriormente realizar ataques de compresión JPEG y recortes de la información de la imagen de Lena marcada (- = valores omitidos debido a que no se logró la detección de la marca).

Lena (512 x 512) $\alpha = 4.8$ $M = 16000$		Ataques					
		JPEG				Recorte	
		75 %	50 %	25 %	10 %	1	2
$L = 10000$	Umbral	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060	0.0064	0.0063
	Valor de correlación	0.0160	0.0150	0.0145	0.0119	0.0150	0.0117
$L = 50000$	Umbral	0.0023	0.0021	0.0019	-	0.0022	0.0022
	Valor de correlación	0.0056	0.0039	0.0031	-	0.0040	0.0034

**Tabla 7.** Valores del umbral y de correlación obtenidos al modificar la posición de la marca de agua cuando: se escaló la imagen, se agregó ruido gaussiano uniforme y no se realizó ningún ataque a la imagen de Lena marcada (- = valores omitidos debido a que no se logró la detección de la marca).

Lena (512 x 512) $\alpha = 4.8$ $M = 16000$		Ataques					
		Reducción			Ruido		
		80 %	60 %	40 %	25 %	50 %	75 %
$L = 10000$	Umbral	0.0044	0.0031	0.0020	0.0072	0.0097	0.0123
	Valor de correlación	0.0117	0.0082	0.0033	0.0150	0.0137	0.0151
$L = 50000$	Umbral	0.0013	-	-	0.0044	-	-
	Valor de correlación	0.0029	-	-	0.0064	-	-

En las tablas 9 y 10 se puede apreciar que los valores de correlación no se incrementan en gran escala al aumentar el tamaño de la marca de agua, sino que al contrario, ocurre que entre más grande sea el tamaño de la marca de agua disminuyen tanto los valores de correlación como los del umbral, pero los valores no correspondientes a la marca se ven más alejados del valor del umbral.

#### 4.4 Resultados obtenidos por simulación computacional

Todos los resultados mostrados en las tablas anteriores fueron obtenidos al aplicar el algoritmo de inserción a la imagen de Lena en escala de grises con formato de mapa de bits (bmp) [10]. Únicamente se presentan estos resultados debido a que en las imágenes a color se obtuvieron resultados muy

**Tabla 8.** Resultados de las pruebas realizadas al modificar el tamaño de la marca de agua insertada en la imagen de Lena;  $\alpha = 4.8$  y  $L = 25\ 000$  (Sí = se logró detectar la marca de agua, No = marca de agua no detectada).

M	Ataques Realizados											
	JPEG (%)				Recorte		Reducción (%)			Ruido (%)		
	75	50	25	10	1	2	80	60	40	25	50	75
16000	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No
40000	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No

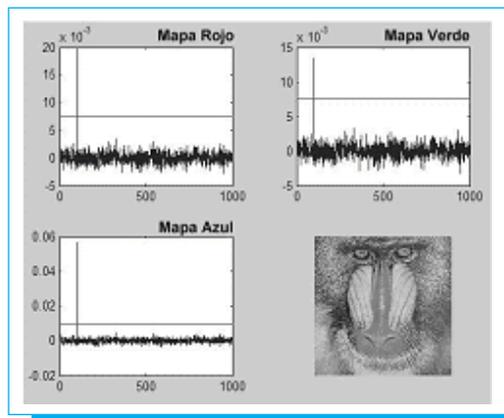
**Tabla 9.** Valores obtenidos al realizar la detección para distintos tipos de tamaño de la marca de agua tras haber realizado compresión JPEG y recortes en la imagen de Lena marcada.

Lena (512 x 512) $\alpha = 4.8$ $L = 25000$		Ataques					
		JPEG				Recorte	
		75 %	50 %	25 %	10 %	1	2
M = 16000	Umbral	0.0037	0.0036	0.0036	0.0035	0.0039	0.0036
	Valor de Correlación	0.0100	0.0085	0.0082	0.0050	0.0088	0.0066
M = 40000	Umbral	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0031	0.0030
	Valor de Correlación	0.0079	0.0067	0.0056	0.0035	0.0066	0.0052

parecidos y el comportamiento de los parámetros críticos del algoritmo de inserción se comportaron de la misma manera en lo hicieron para las imágenes en escala de grises y el objetivo es detallar el comportamiento que genera en la imagen cada uno de ellos. [11]

**Tabla 10.** Valores obtenidos al realizar la detección para distintos tipos de tamaño de la marca de agua tras haber escalado la imagen y agregar ruido gaussiano uniforme en la imagen de Lena marcada (- = marca de agua insertada no detectada; X = no fue posible realizar la prueba de detección debido a que se tienen menos píxeles de los que requiere el algoritmo).

Lena (512 x 512) $\alpha = 4.8$ $L = 25000$		Ataques				
		Reducción			Ruido	
		80 %	60 %	40 %	25 %	50 %
M = 16000	Umbral	0.0024	0.0017	-	0.0053	0.0084
	Valor de correlación	0.0066	0.0040	-	0.0105	0.0087
M = 40000	Umbral	0.0019	0.0013	X	0.0049	0.0081
	Valor de correlación	0.0049	0.0019	X	0.0081	0.0081



**Fig. 9.** Marcas detectadas en los tres mapas de color al aplicar el algoritmo de detección en la imagen del mandril marcada (en el mapa azul) tras haber utilizado la compresión JPEG.

Una diferencia relevante en las imágenes a color fue que al insertar una marca de agua en un solo mapa de color y transformarla al formato JPEG, se hacía una réplica de ella en los otros mapas de color (figura 9), esto es debido al proceso que se utiliza para poder convertir la imagen a color en dicho formato. Además de esto, con el proceso de compresión JPEG se debilitaba mucho la marca de agua. Cuando se insertaba la marca de agua con el valor que se obtenía de la ecuación (7) y al aplicar la compresión JPEG, no se detectaba la marca de agua, y así se tenía que incrementar el valor del factor de ganancia para poder tener mejores resultados, sin embargo no aguantaba factores de compresión altos.

A pesar de que cuando se realizaba la compresión JPEG y se copiaba la marca de agua en los otros mapas de color en los que no se había insertado, siempre la marca detectada en el mapa de color en que fue insertada tenía un valor mayor que las demás.

En la tabla 11 se muestran los resultados de detección de la imagen del mandril marcadas (figura 10 - izquierda) y la de Tiffany (figura 10 - derecha) tras haber sufrido algunos ataques.

Los resultados que se muestran en la tabla 11 fueron obtenidos de acuerdo a los siguientes valores: en la imagen del mandril se usó una marca de tamaño  $M = 30\,000$ , en la posición  $L = 25\,000$  y  $\alpha = 1.9587$ ; en la imagen de Tiffany se insertó una marca de tamaño  $M = 30\,000$ , en la posición  $L = 25\,000$  y  $\alpha = 10.3311$ . Después de haber insertado la marca se realizaron diversos ataques, y se trató así de detectar la marca de agua.



Fig. 10. Imágenes a color utilizadas en las pruebas.

## 5. Conclusiones

En este artículo se mostró que el algoritmo evaluado es robusto, y además de mayor robustez se logra evitar que sea visible la marca de agua en la imagen utilizando una máscara que explota las características del sistema visual humano. Con base en los experimentos realizados se pudo comprobar cómo se afecta tanto la imagen como los resultados de la detección con respecto al valor del factor de ganancia ( $\alpha$ ), la posición ( $L$ ) y el tamaño ( $M$ ) de la marca de agua que se eligen al momento de la inserción. Además se atacó a la imagen marcada con procesos de compresión JPEG, escalamiento, adición de ruido impulsivo uniforme y recortes en la imagen. Se mostró que al escalar la imagen el algoritmo utilizado no se puede aplicar cuando el número total de píxeles ( $N \times N$ ) es menor a  $L + M$  píxeles, ya que se requiere al menos de  $L + M$  píxeles para poder aplicar el algoritmo de correlación. Cuando se agrega ruido a la imagen, se observó que el valor del umbral tiende a incrementarse, es decir, este tipo de distorsión afecta el valor del umbral, pero el valor de correlación no se incrementa, así que no siempre puede detectarse la presencia de la marca de agua, principalmente cuando la cantidad de ruido agregado es muy alta. Por tanto, se mostró cómo deben elegirse los valores adecuados dependiendo del tipo de imagen que se tenga y la aplicación que se le quiera dar a ésta.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) el apoyo brindado durante la realización de esta investigación.

## 6. Referencias

- [1] G. C. Langelaar, I. Setyawan, R. L. Ragendijk, «Watermarking Digital Image and Video Data», *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 20-46, Sept. 2000.
- [2] I.J. Cox, T. Leighton, and T. Shamoon, «Secure Spread spectrum watermarking for image, audio and video»,

Tabla 11. Resultados de detección obtenidos de las imágenes a color mostradas en la figura 10 (Sí = se logró detectar la marca de agua, No = no se logró detectar la marca de agua insertada).

Ataques	Mandrill	Tiffany
Ninguno	Sí	Sí
Compresión JPEG 75 %	No	No
Escalamiento al 75 %	Sí	Sí
Escalamiento al 50 %	No	Sí
Adición de ruido impulsivo con una densidad del 25 %	Sí	Sí
Adición de ruido impulsivo con una densidad del 50 %	Sí	Sí
Adición de ruido impulsivo con una densidad del 75 %	Sí	No
Recorte 1	Sí	Sí
Recorte 2	Sí	Sí
Efecto de emborronado (blur)	Sí	Sí

*Proc. of Int. Conf. Image Processing*, pp. 243-246, Sept. 1996.

- [3] C. I. Podilchuk, W. Zeng, «Image-Adaptive Watermarking Using Visual Models», *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 16, núm. 4, pp. 525- 539, Mayo, 1998.
- [4] J. Huang, Y. Q. Shi, Y. Shi, «Embedding Image watermarks in DC Components», *IEEE trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 10, núm. 6, pp. 974-979, Sept. 2000.
- [5] M. Barni, F. Bartolini, A. Piva, «Improved Wavelet-Based Watermarking Through Pixel-Wise Masking», *IEEE Trans. On Image Processing*, vol. 10, núm. 5, mayo, 2001.
- [6] H. Inoue, A. Miyazaki, A. Yamamoto, T. Katsura, «A digital Watermark Based on the Wavelet Transform and its Robustness on Image Compression and Transformation», *IEICE Trans. Fund. Electron. Commun. Comput.* vol. E82-A, pp. 2-19, enero, 1999.

- [7] A.Piva, M. Barni, F. Bartolini, V. Cappellini, «DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image», *Proc. of IEEE Int. Conf. of Image Processing*, pp. 520-523, Oct. 1997.
- [8] F. Bartolini, M. Barni, V. Cappellini, A. Piva, «Mask building for perceptual hiding frequency embedded watermarks», *Proc. of IEEE Int. Conf. Image Processing*, pp. 450-454, Oct. 1998.
- [9] M. Barni, F. Bartolini, A. de Rosa, A. Piva « A New Decoder for the Optimum Recovery of Nonadditive Watermarks», *IEEE, Trans. on image processing*, vol. 10, núm. 5, pp. 755 – 766, 20
- [10] Efrén Bollaín y Goytia, Mariko Nakano, Héctor Pérez, «Análisis de los Parámetros Críticos para el Algoritmo de Inserción de Marca de Agua en el Dominio de DCT», CIBSI 2003, octubre.
- [11] Luis Efrén Bollaín y Goytia Meza, Mariko Nakano Miyatake, Héctor M. Pérez, «Análisis del Algoritmo de Inserción de Marcas de Agua en el Dominio de DCT Aplicado a Imágenes a Color», ROC&C 2003, noviembre 2003.
- [12] M. Kutter, F. Jordan, F. Bossen, « Digital Watermarking of Color Images Using Amplitude Modulation », *Journal Electronic Imaging* 7(2), pp. 326 - 332, April 1998.

# DIGITAL

# DOT

## SA DE CV

### DISEÑO E IMPRESIÓN DE CALIDAD

**TEL. 5339 5880**  
**5339 5484**

**CENTENARIO 4, COL. DEL CARMEN,  
COYOACÁN, DEL. COYOACÁN, MÉXICO, DF, 04100**