

IPN
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACAN

TESIS INDIVIDUAL

Que como prueba escrita de su Examen Profesional para obtener el Título de **INGENIERO EN COMPUTACIÓN** deberá desarrollar el C.:

FRANCO SAAVEDRA RIVERA

“ALGORÍTMO ADAPTATIVO DE MARCA DE AGUA VISIBLE EN IMÁGENES DIGITALES BASADO EN EL MODELO JND”

En esta tesis se propone un sistema computacional para la inserción de marcas de agua visibles con base en el Sistema Visual Humano (HVS, por sus siglas en inglés), dicho sistema ha tenido grandes aplicaciones para el procesamiento de imágenes digitales debido a la percepción visual que tiene de cada una de las características que podemos encontrar en ellas, tales como: luminancia, contraste color, profundidad, zonas texturizadas, zonas planas y de bordes. El siguiente trabajo se realizó con el objetivo de mejorar la manera que los algoritmos de marcado de agua actuales realizan la inserción en la imagen, el sistema propuesto analiza la imagen a marcar por medio de la Distorsión Apenas Perceptible, (JND, por sus siglas en inglés), para adaptar la inserción en cada zona de la imagen a marcar y mantener un equilibrio entre imperceptibilidad y robustez.

CAPÍTULO I.- DEFINICIÓN Y ALCANCES.
CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.
CAPÍTULO III.- DESARROLLO.
PRUEBAS Y RESULTADOS.
CONCLUSIONES.

Ciudad de México a 11 de mayo del 2018



DRA. CLARA CRUZ RAMOS
PRIMER ASESOR



DR. JOSE VELAZQUEZ LOPEZ
JEFE DE LA CARRERA DE I.C.

SEGUNDO ASESOR



S.E.P. I.P.N.
M. en E. CARLOS AQUINO RUIZ
DIRECTOR INTERINO

DIRECCIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACAN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
OFICINA DE TITULACIÓN PROFESIONAL



CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA

En la Ciudad de México, a **25** de junio del año **2018**, el que suscribe **FRANCO SAAVEDRA RIVERA** alumno de la carrera de **Ingeniería en Computación**, con número de registro **R-025/18**, egresado de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Culhuacán, manifiesto que soy el autor intelectual del presente trabajo de Tesis, bajo la asesoría de la **DRA. CLARA CRUZ RAMOS**, y autorizo el uso del trabajo titulado **“ALGORÍTMO ADAPTATIVO DE MARCA DE AGUA VISIBLE EN IMÁGENES DIGITALES BASADO EN EL MODELO JND”**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deberán reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o asesor del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección de correo: **frasave94@hotmail.com** Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Franco Saavedra Rivera
Nombre y firma del alumno (a)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD CULHUACAN
INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN

**ALGORITMO ADAPTIVO DE MARCA DE AGUA VISIBLE
EN IMÁGENES DIGITALES BASADO EN EL MODELO JND**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO EN COMPUTACIÓN

P R E S E N T A:

FRANCO SAAVEDRA RIVERA

ASESORA:

DRA. CLARA CRUZ RAMOS



Ciudad de México, Junio de 2018.

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por haberme permitido llegar a este punto de mi vida y estar conmigo en todo momento dándome fuerza y paciencia.

A mis Padres Margarito y Gregoria quienes a lo largo de mi vida siempre creyeron en mí y durante mi desarrollo profesional me han apoyado ciegamente, enseñándome los valores necesarios para ser una persona de bien ya que sin ellos no podría haber estado donde me encuentro ahora.

A mis hermanas Susana y Beatriz por ser una parte importante de mi vida, por ser mi motivación día a día para superarme ya que son la principal razón de realizar este logro.

A mi asesora la Dra. Clara Cruz Ramos y el Dr. Rogelio Reyes Reyes por el apoyo que me brindaron durante la realización de este proyecto y la confianza que tuvieron en mí.

A mis amigos que he hecho a lo largo de mi vida que siempre estuvieron ahí para darme apoyo cuando lo necesitaba, los cuales estuvieron ahí para pasar buenos e inolvidables momentos a mi lado.

Al Instituto Politécnico Nacional por permitirme ser parte de su comunidad politécnica, a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por haber sido mi casa de estudios a lo largo de estos 4 años, por haberme guiado en mi formación profesional.

RESUMEN

En esta tesis se propone un sistema computacional para la inserción de marcas de agua visibles con base en el Sistema Visual Humano (HVS, por sus siglas en ingles), dicho sistema ha tenido grandes aplicaciones para el procesamiento de imágenes digitales debido a la percepción visual que tiene de cada una de las características que podemos encontrar ellas, tales como: luminancia, contraste, color, profundidad, zonas texturizadas, zonas planas y de bordes.

El siguiente trabajo se realizó con el objetivo de mejorar la manera que los algoritmos de marcado de agua actuales realizan la inserción en la imagen, el sistema propuesto analiza la imagen a marcar por medio de la Distorsión Apenas Perceptible (JND, por sus siglas en ingles), para adaptar la inserción en cada zona de la imagen a marcar.

Las características de la imagen a marcar que se analizaron son la luminancia, contraste y texturas mediante la implementación de la Transformada Discreta del Coseno (DCT, por sus siglas en ingles), los cuales se usaron para determinar el factor de inserción que se usara para cada zona de la imagen.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	2
RESUMEN	3
ÍNDICE.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Planteamiento Del Problema.....	9
1.2 Objetivo General	9
1.3 Objetivos Específicos	9
1.4 Justificación	10
CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	12
2.1 Estado Del Arte.....	12
2.2 Marco Teórico	15
2.2.1 Marcado De Agua En Imágenes Digitales	15
2.2.2 Imágenes Digitales.....	17
2.2.3 Características De Las Imágenes Digitales	19
2.2.4 Sistema Visual Humano	26
2.2.5 Distorsión Apenas Perceptible (JND).....	26
2.2.6 Transformada Discreta Del Coseno	28

CAPITULO III DESARROLLO	33
3.1 Metodología Del Proyecto	33
3.1.1 Calculo Y Analisis Del JND	34
3.1.2 Inserción De La Marca De Agua.....	40
CAPITULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS	43
4.1 Escenario De Desarrollo	43
4.2 Escenarios De Pruebas	43
4.3 Pruebas Del Cálculo y Analisis Del JND.....	43
4.3 Pruebas De Inserción De La Marca de Agua	46
CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO	50
REFERENCIAS	51

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN DE UNA IMAGEN DIGITAL	17
FIGURA 2. BITS DE PROFUNDIDAD	18
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN DE BORDES EN TONALIDADES BLANCAS	19
FIGURA 4. IMAGEN CON ZONAS PLANAS	20
FIGURA 5. IMAGEN CON ZONAS PLANAS CON ALTERACIÓN	21
FIGURA 6. IMAGEN TEXTURIZADA	21
FIGURA 7. IMAGEN TEXTURIZADA CON ALTERACIÓN	22
FIGURA 8. IMAGEN CON ALTO CONTRASTE	23
FIGURA 9. REPRESENTACIÓN DE NIVELES DE CONTRASTE	23
FIGURA 10. NIVELES DE CONTRASTE EN TONALIDADES ROJAS	24
FIGURA 11. REPRESENTACIÓN DE LUMINANCIA EN UNA IMAGEN	24
FIGURA 12. RANGO DE TONALIDADES A REPRESENTACIÓN DE 8 BPP	25
FIGURA 13. REPRESENTACIÓN DE LA CAPTACIÓN DE IMÁGENES VISUALES	26
FIGURA 14. IMÁGENES CON VARIACIONES APENAS PERCEPTIBLES PARA EL OJO HUMANO	27
FIGURA 15. REPRESENTACIÓN DE FRECUENCIAS DCT	30
FIGURA 16. CLASIFICACIÓN DE FRECUENCIAS DE LA DCT	30
FIGURA 17. DIAGRAMA A BLOQUES DEL SISTEMA COMPUTACIONAL	34
FIGURA 18. APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA DISCRETA DEL COSENO.....	35
FIGURA 19. UMBRAL BASE	37
FIGURA 20. CLASIFICACIÓN DE TEXTURAS	38
FIGURA 21. CÁLCULO DE LA DISTORSION APENAS PERCEPTIBLE.....	38
FIGURA 22. CONVERSIÓN AL ESPACIO DE COLOR YCbCr	40
FIGURA 23. PREPROCESAMIENTO DE LA IMAGEN MARCA	41
FIGURA 24. IMÁGENES MARCA	43
FIGURA 25. RESULTADOS DE LA OBTENCIÓN DEL MODELO JND: (i) IMAGEN ORIGINAL, (ii) UMBRAL DE DISTORSION APENAS PERCEPTIBLE (JND).....	45
FIGURA 26. RESULTADOS DE LA INSERCIÓN DE LA MARCA DE AGUA VISIBLE: (i)IMAGEN MARCADA CON EL SISTEMA PROPUESTO, (ii)IMAGEN MARCADA CON FACTOR DE INSERCIÓN HOMOGÉNEO $A= 0.3$	48

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

Hoy en día las técnicas de marcado de agua visibles han ganado gran popularidad en el ámbito de la protección de imágenes digitales a causa del amplio uso del Internet y aplicaciones multimedia; sin embargo, una problemática que presenta este tipo de técnicas es que puede resultar invasiva, propiciando la degradación de la imagen a proteger; por lo tanto se debe de guardar un equilibrio entre los requerimientos de imperceptibilidad y robustez de la marca de agua ante diversos ataques, lo que se vuelve una tarea difícil debido a que estas características son opuestas.

Por lo tanto, es conveniente conocer la distorsión mínima que puede aplicarse a una imagen digital, sin que su contenido visual se perciba alterado. La Distorsión Apenas Perceptible (JND) se refiere al umbral de visibilidad por debajo del cual cualquier cambio en una imagen digital no podrá ser detectado por el Sistema Visual Humano (HVS). En este trabajo se presenta un sistema de marcado de agua visible para imágenes digitales a color, el cual realiza la inserción de la marca de agua tomando en consideración el umbral de distorsión mínima por basado en el modelo JND para evitar la degradación de la imagen a proteger. Los resultados obtenidos demuestran que la inserción de una marca de agua visible que toma en consideración el modelo JND mejora el equilibrio entre robustez e imperceptibilidad en la imagen marcada.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hasta la fecha la tecnología ha avanzado a pasos significativos, la intención siempre es facilitar las cosas a la sociedad, la ingeniería es la ciencia que busca aplicar los conocimientos científicos a la invención, diseño y perfeccionamiento, luchando incansablemente por encontrar problemas sociales y resolverlos; actualmente el procesamiento de imágenes ha crecido en forma exponencial debido al gran avance tecnológico en cámaras digitales, videos etc., sin embargo no han podido suplir todas las necesidades de la sociedad.

En la actualidad la mayoría de las técnicas de marcado de agua, no toman en consideración cómo el Sistema Visual Humano (HVS) percibe este tipo de contenido, por lo tanto, es primordial que se desarrollen sistemas computacionales que emulen el comportamiento del HVS con la finalidad de calcular la Distorsión Apenas Perceptible (JND) para mejorar la inserción de marcas de agua visibles que se adapten a las características de cada imagen, para con ello lograr una inserción de mayor robustez e imperceptibilidad.

1.2 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema computacional de marcado de agua visible en el dominio frecuencial basado en el Sistema Visual Humano, mediante el cálculo y análisis del JND permitiendo la adaptabilidad de la inserción de la marca de agua para garantizar la protección de los derechos de autor y propiedad intelectual de la imagen.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los antecedentes relacionados con los algoritmos de marcado de agua basado en características de la imagen.
- Entender el funcionamiento del HVS y sus parámetros de referencia.

- Implementar un algoritmo que tome en consideración el Sistema Visual Humano para el cálculo del JND.
- Implementar un algoritmo que permita cambiar el factor de inserción de una marca de agua basado en las características de la imagen.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Una de las necesidades más apremiantes en la sociedad mexicana es la protección su información. En la sociedad mexicana existen pocos algoritmos para la protección de la información, los algoritmos para el procesamiento de imágenes digitales han dejado desapercibido el funcionamiento del Sistema Visual Humano.

El conocer los parámetros de distorsión de una imagen digital brinda permitirá mejorar el algoritmo de marcado de agua mejorando así la robustez e imperceptibilidad de la marca de agua, haciendo a esta más difícil de remover por medio de técnicas convencionales, asegurando así la protección de la imagen a resguardar.

CAPÍTULO II

CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

Muchos autores han implementado distintos métodos y técnicas para mejorar los algoritmos de marcado de agua en imágenes digitales, uno de estos métodos es el modelo JND para la manipulación y procesamiento de imágenes, en el presente capítulo se introducirá una breve explicación sobre los trabajos más significativos en el desarrollo de algoritmos de marcado de agua visible en los cuales se implementa el modelo JND, de igual manera se procederá a hacer referencia a los términos y características con los cuales se trabajará para el desarrollo de este proyecto.

2.1 ESTADO DEL ARTE

Título: Visible Watermarking Based on Importance and Just Noticeable Distortion of Image Regions [1]

Autores: Himanshu Agarwal, Debashis Sen, Balasubramanian Raman y Mohan Kankanhalli

En este trabajo se presenta un algoritmo de marcado de agua basado en el análisis de la textura en una imagen digital para poder determinar un factor de inserción acorde a los resultados obtenidos del análisis de dicha característica.

Durante el desarrollo del trabajo utilizan la DCT para poder realizar la extracción de la característica de la textura en las diversas áreas de la imagen, con esto podían determinar que factor de inserción utilizar para insertar la imagen marca dentro de la imagen a proteger, con lo cual se mejoraba la robustez de la imagen marca para que esta no afecte el contenido de la imagen a marcar.

Título: Edge Detection Based JND Model for Digital Watermarking [2]

Autores: Shuang Zhi, Yana Zhang Cheng Yang y Jianbo Liu

En este artículo proponen un esquema para la mejora de los algoritmos de marcado de agua en imágenes digitales para la protección de la propiedad intelectual mediante el uso del modelo JND el cual provee un eficiente método para la inserción de estas marcas manteniendo un rango de equilibrio entre el factor de inserción de la imagen y la calidad de esta.

La mejora que este artículo propone para el balance entre la imperceptibilidad de la marca y la calidad de la imagen es la detección de los bordes de una imagen para hacer la clasificación de las zonas más texturizadas en el dominio espacial de la imagen para determinarla como la mejor zona para hacer la inserción de la marca.

Como resultado se obtiene que el uso del modelo JND se obtiene una mejor inserción en la imagen digital. Este trabajo no hace un análisis de la luminancia, no toma en cuenta el modelo JND y no analiza las zonas texturizadas, con bordes y los planos en una imagen. No implementa en el modelo más características de una imagen digital pero no guarda equilibrio en la robustez.

Título: Combined Just Noticeable Difference Model Guided Image Watermarking [3]

Autores: Yaqing Niu, Jianbo Liu, Sridhar Krishnan y Qin Zhang

Dentro de este trabajo se habla sobre la importancia de aprovechar los estudios del Sistema Visual Humano y sus resultados para poder mejorar la percepción visual de una marca de agua. Se propone un modelo donde se combina el modelo JND y un esquema de marcado de agua digital.

Se presenta un modelo donde por medio de las características del contraste y luminancia de la imagen digital se realiza el análisis del JND el cual se usará para determinar el umbral permitido para la inserción de la marca de agua, este modelo hace uso de la ILPT (Improved Longest Processing Time) para determinar la energía de los respectivos bloques de la imagen para realizar el procesamiento de sus características y con ello llevar el proceso de marcado.

Los resultados presentados muestran una mejora significativa en cuestión a la robustez de la marca de agua, así como tal la percepción visual de esta, comprobando que la combinación de un esquema de marcado de agua combinado con el modelo JND considerando las características de la imagen a marca tiene un mejor desempeño.

Título: JND Modeling: Approaches and Applications [4]

Autores: Z. Chen y H. Liu

Este artículo comienza con hacer apertura al tema JND en modelos de dominio de frecuencia y dominio espacial, así como la información general del HVS (sistema visual humano).

El modelo JND mide la distorsión apenas perceptible entre dos señales, por lo tanto, se pueden utilizar para cuantificar la distorsión perceptible en una imagen con ruido. Además, el progreso de la JND local para JND global, también se discute que pretende explotar la redundancia perceptual en la imagen, así como las aplicaciones que pueden tomar el JND y el HVS.

Este trabajo no hace un análisis de la luminancia, tampoco de la función de sensibilidad al contraste y ni de la textura, los bordes y los planos en la imagen. No propone ningún método para la aplicación del modelo JND, sólo habla de la teoría acerca del JND.

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 MARCADO DE AGUA EN IMÁGENES DIGITALES

El mercado de agua en imágenes digitales emergió como una solución a la problemática de la protección de derechos de autor [1]; ya que hoy en día una gran cantidad de personas alrededor del mundo comparten sus fotografías e imágenes digitales a través de la Internet, debido a que éstas pueden ser visualizadas y distribuidas por cualquier persona en todo momento, se considera de suma importancia la protección intelectual del contenido de estos archivos, la técnica de marcado de agua proporciona bondades como la protección, autenticación e integridad de los datos, la cual añade información adicional a la imagen original teniendo como resultado una imagen protegida [5].

Una marca de agua consiste en la inserción de información adicional de una imagen marca (W) dentro de una imagen portadora (I) para obtener la imagen marcada (IW) con la finalidad de proteger los derechos de autor y la seguridad del contenido.

Las marcas de agua son empleadas con diferentes objetivos, entre los cuales podemos encontrar [5]:

- Identificación de propiedad
- Monitoreo de distribución
- Autenticación
- Control de copias
- Comunicación encubierta

Las principales características que una marca de agua debe de cumplir son [6]:

- Imperceptibilidad: que la calidad de la imagen no se debe ver afectada por la presencia de la imagen marca.
- Robustez: esta característica hace referencia a la resistencia que tiene la marca de agua contra ataques para ser removida de la imagen portadora.
- Capacidad: es la cantidad de información que puede ser insertada en la imagen portadora.

De igual manera las marcas de agua se pueden clasificar en el dominio con el cual se trabaja, como se menciona en [5] se dividen en dos campos principalmente:

- Dominio Espacial: dentro de este dominio se introduce directamente la marca de agua sobre los valores de los pixeles de la imagen, esto manipulando los planos de color de la imagen a marcar dependiendo el espacio de color en el que se encuentre la imagen.
- Dominio Frecuencial: en este dominio las modificaciones sobre la imagen a marcar se hacen sobre valores de los pixeles que fueron procesados por algún tipo de algoritmo matemático entre los cuales destacan: Transformada de Fourier, Transformada de Discreta del Coseno, Transformada Discreta de Wavelet y la Transformada Slant.

A través de los años algunas de las principales problemáticas de las técnicas de marcado de agua visible ha sido la imperceptibilidad de la marca de agua y/o la degradación de la calidad de la imagen original; por lo tanto, si se desea incrementar la robustez, la marca de agua debe ser más perceptible afectando la calidad de la imagen a proteger, en caso contrario si desea mantener la calidad se reduce la robustez de la marca de agua ante ataques.

Durante los últimos años se han desarrollado diversos modelos para el cálculo de la distorsión apenas perceptible en imágenes digitales los cuales obtienen los niveles de distorsión máximos y mínimos en una imagen digital que pueden ser distinguidos por el ojo humano; su funcionamiento está basado en procesar las características de la imagen, entre las cuales se encuentran la luminancia, la textura, el contraste y los colores [7]. En el trabajado presentado por [8], se hace la implementación del análisis de la luminosidad y el contraste para determinar el umbral de distorsión en una imagen para la inserción de una marca de agua visible en las regiones de la imagen de mayor energía perceptible mejorando la percepción de la marca de agua visible. [2] propone un esquema para la mejora de algoritmos de marcado de agua visibles mediante el uso del modelo JND con base en la detección de las zonas más texturizadas de la imagen.

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente se propone el desarrollo de un sistema de marcado de agua visible que tome en consideración un umbral de distorsión apenas perceptible obtenido mediante el análisis de la luminosidad, contraste y clasificación de texturas de la

imagen digital que sirva como base para determinar el factor de inserción de la marca de agua visible para que esta no sea intrusiva, pero mantenga su perceptibilidad.

2.2.2 IMÁGENES DIGITALES

Las imágenes digitales son fotos electrónicas tomadas de una escena o escaneadas de documentos, fotografías, manuscritos, textos impresos e ilustraciones. Se realiza una muestra de una imagen digital y se confecciona en mapa de ella en forma de cuadrícula de puntos o elementos de la figura (píxeles) [9]. A cada píxel se le asigna un valor tonal (negro, blanco, matices de gris o color) el cual está representado en un código binario (ceros y unos). Los dígitos binarios (“bits”) para cada píxel son almacenados por una computadora en una secuencia, y con frecuencia se los reduce a una representación matemática (comprimida). Luego la computadora interpreta y lee los bits para producir una versión analógica para su visualización o impresión. En la **Figura 1** se puede observar una imagen digital y representación con bits, a cada píxel se le asigna un valor, en este ejemplo 0 para el negro y 1 para el blanco.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 1. Representación de una imagen digital [10]

La profundidad de bits es determinada por la cantidad de bits utilizados para definir cada píxel, cuanto mayor sea la profundidad de bits mayor será la cantidad de tonos que puedan ser representados.

Una *imagen bitonal* está representada por píxeles que constan de 1 bit cada uno, que pueden representar dos tonos (blanco y negro), utilizando los valores de 0 para el negro y 1 para el blanco o viceversa.

Una *imagen a escala de grises* está compuesta por píxeles representados por múltiples bits de información que típicamente varían entre 2 a 8 bits o más y la cantidad de tonos que pueden representarse es 2^n donde n será la cantidad de bits de profundidad en la imagen.

Una *imagen a color* esta típicamente representada por una profundidad de bits entre 8 y 24 o superior a ésta. Es una imagen de 24 bits, los bits por lo general están divididos en tres grupos: 8 para el rojo, 8 para el verde y 8 para el azul.

En la **Figura 2** se muestra de izquierda a derecha una imagen bitonal de 1 bit, una imagen a escala de grises de 8 bits y una imagen a color de 24 bits de profundidad.

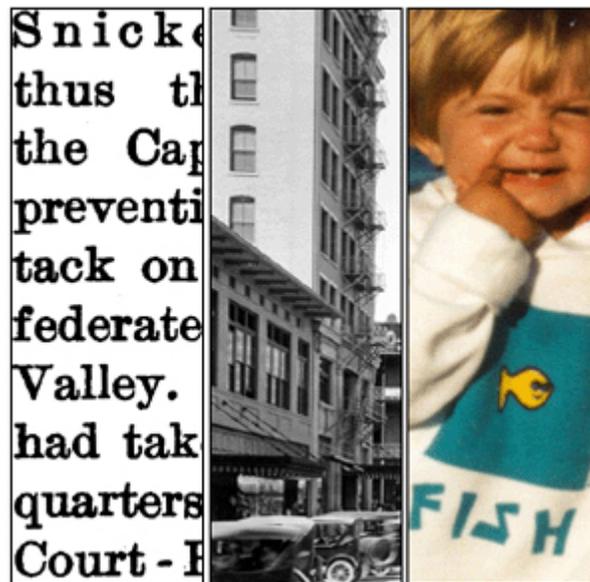


Figura 2. Bits de Profundidad [11]

2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DIGITALES

Dentro del estudio de las imágenes digitales se pueden trabajar con las características de estas, las cuales se pueden obtener en base a la información de la imagen, dentro de estas características se pueden la luminancia, el contraste, el tipo de zonas que tiene la imagen, el color, la profundidad, etc., estas características pueden ser utilizadas para un sinnúmero de algoritmos de procesamiento de imágenes digitales dependiendo la finalidad que se tenga [12].

A continuación, se definirán algunas de las características principales de las imágenes digitales con las que se trabajarán en el desarrollo del proyecto.

Áreas de Bordes

Los bordes son una de las muchas características que puede contener una imagen. Se entiende por borde, a la frontera entre dos regiones cuyos tonos de gris o intensidad de píxeles difieren significativamente, es decir, son los cambios bruscos entre los niveles de grises de píxeles vecinos. Un área con bordes puede estar delimitando áreas texturizadas o planas, en la **Figura 3** se muestra una imagen que contiene bordes.



Figura 3. Representación de bordes en tonalidades blancas [13]

Esta característica de las imágenes se puede utilizar para poder definir zonas u objetos dentro de la misma imagen, para mostrar el contorno que posee el objeto a resaltar.

Áreas Planas

Otra característica de una imagen son las áreas planas, se entiende por área plana al área de la imagen en donde la variación de las intensidades entre píxeles vecinos es relativamente poca o nula. Lo que nos hace pensar que esa región de la imagen maneja el mismo tono de color, pero puede no ser así es solamente que la variación del valor del pixel vecino es mínima.

Dentro de estas regiones de la imagen digital no se pueden realizar cambios significativos ya que son muy sensibles a los cambios, es decir, como ya se ha definido anteriormente los cambios entre píxeles son muy pocos o a veces nulos, entonces cualquier cambio que se realice en estas zonas va a ser muy perceptible ya que no cuenta con un distractor para el ojo como puede ser la variación de los píxeles. Un ejemplo de una imagen plana se muestra en la **Figura 4**.

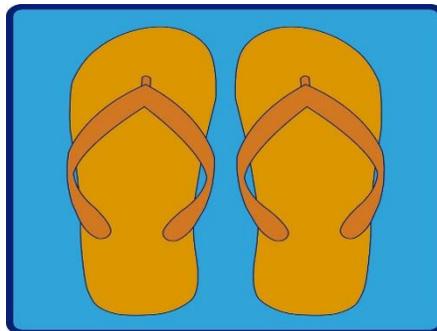


Figura 4. Imagen con zonas planas [14]

En una imagen plana como se puede observar la variación en el valor de sus píxeles es muy poca, dado que estas áreas mantienen el mismo tono de color e intensidad, como ya se había mencionado anteriormente, cualquier cambio que se realice en ella va a ser muy evidente, para ejemplificar esto en la **Figura 5** se muestra cómo se realiza un pequeño cambio en la imagen, el cual va a ser muy notorio ya que se modificaría notablemente el valor de píxeles vecinos dentro de la imagen.

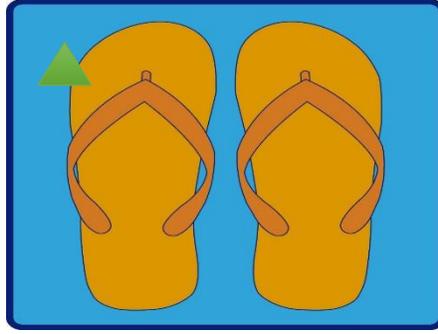


Figura 5. Imagen con zonas planas con alteración [14]

Áreas de Textura

La textura en una imagen es también una de las características más importantes a analizar en una imagen, en estas áreas de la imagen la variación del valor de los píxeles con respecto a los píxeles vecinos es muy aleatoria.

La textura es la calidad visual que nos hace interpretar que la imagen está constituida por diferentes materiales, así como puede ser rugosa, áspera, etc.

Se puede diferenciar un área plana de un área texturizada por la variación en el valor de píxeles y así mismo la variación en las tonalidades de color. Dentro del procesamiento de imágenes digitales, las áreas texturizadas son frecuentemente ocupadas para hacer alguna alteración o modificación debido a que los cambios que se empleen en estas zonas no van a ser tan visibles para el ojo humano. Un ejemplo de una imagen texturizada se muestra en la **Figura 6**.



Figura 6. Imagen texturizada [15]

En el ejemplo de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.6** podemos observar una significativa variación en las tonalidades de la imagen dado al cambio que tienen los valores de los píxeles con respecto a los demás, haciendo pensar que tiene una forma rugosa esas áreas de la imagen. En esta imagen se puede observar que hay ausencia de zonas planas ya que casi toda la imagen está compuesta en su totalidad por áreas texturizadas, por lo tanto, alguna alteración o modificación dentro de la imagen sería sumamente difícil de percibir para el ojo humano, en la **Figura 7** se realiza una modificación a la imagen



Figura 7. Imagen texturizada con alteración [15]

Contraste

El contraste es otra de las características que podemos encontrar dentro de una imagen digital, esta característica hace referencia a la variación de iluminación que existe entre las áreas de la imagen digital.

La función de sensibilidad al contraste se puede definir como la capacidad de discriminar diferencias de iluminación entre áreas vecinas [16], en donde existe la capacidad de lograr distinguir la distinción entre estas áreas, como se muestra en la **Figura 8**.



Figura 8. Imagen con alto contraste [17]

Para relacionar el sistema visual humano con el contraste podríamos definir que la sensibilidad al contraste representa el menor contraste que el sistema visual humano puede detectar. También se puede definir como la diferencia de luminancia de un objeto y su fondo dividido por el brillo de los dos.

Para complementar estas definiciones el umbral de contraste es muy importante ya que cada persona maneja un umbral diferente, tal vez pueda variar dependiendo a las personas. Podemos definirlo como un el objeto con el menor contraste que una persona pueda reconocer. A medida que la visión es mejor aumenta el contraste y disminuye el umbral.

La **Figura 9** representa la visión de una persona con un umbral de contraste alto y otra con el umbral más bajo.

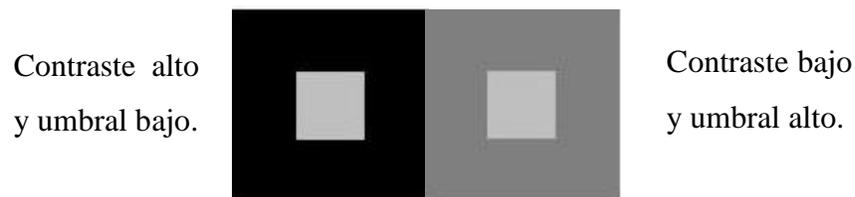


Figura 9. Representación de niveles de contraste [18]

Una de las características a considerar en el sistema propuesto es la sensibilidad al contraste debido a que en las zonas de alto y bajo contraste no se perciben los cambios en una imagen, es decir, si se trabaja con una imagen con muy alto contraste o muy bajo podemos alterarla de una manera más robusta De manera contraria si trabajamos con una imagen que tenga un contraste

medio son más perceptibles los cambios. En la **Figura 10** se muestra una imagen con distintos tipos de contraste.



Figura 10. Niveles de contraste en tonalidades rojas [19]

Podemos observar como en las esquinas se encuentra un contraste bajo y es por eso por lo que nos es más difícil percibir el cambio que hay entre un color y otro, en cambio en las zonas de en medio es muy fácil percibir los 3 tipos de colores, esto se debe a que en las zonas de en medio el contraste entre los colores es mayor.

Luminancia

La luminancia es la medida fotométrica de la intensidad del brillo, este componente de la imagen se va a medir por medio de candelas sobre metros cuadrados (cd/m^2). A una luminancia alta en una imagen es más brillante y con una luminancia baja la imagen se torna más oscura como se puede observar en la **Figura 11**.

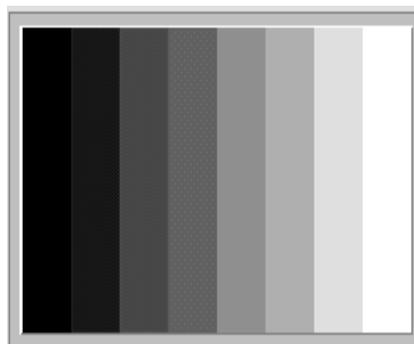


Figura 11. Representación de luminancia en una imagen [20]

Si se analiza la **Figura 11** se puede mencionar que la luminancia representa la información de la parte blanca y negra que tiene una imagen. En los sistemas de procesamiento de imágenes digitales la luminancia es creada a partir de la señal RGB original, esto multiplicando los 3

planos de colores (una matriz de rojo, una de verde y una de azul), que componen la imagen en determinadas proporciones, y se generan escales de grises acordes con el brillo que el ojo humano recibe posteriormente de la imagen, esta fórmula se define:

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (1)$$

En sistemas digitales esta señal de luminancia se codifica por separado a la señal del color, y se evita en todo momento que se interfiera con las señales de color, esta señal de luminancia suele indicar con la letra Y.

Los niveles de intensidad de la luminancia van a estar comprendidos en un rango de valores de 0 a 255 teniendo en cuenta que estos coeficientes se obtienen ya que la información de una imagen a color se encuentra codificada en 8 bits, si no dependería de la manera en que se esté representando la imagen y del modelo de color que se esté usando, podemos decir los niveles de intensidad dependerán de la cantidad de bits-por-pixel (bpp). Como podemos observar en la **Figura 12** un valor 0 en el pixel nos va a representar una tonalidad oscura mientras que un valor en el pixel de 255 nos va a representar una tonalidad blanca.

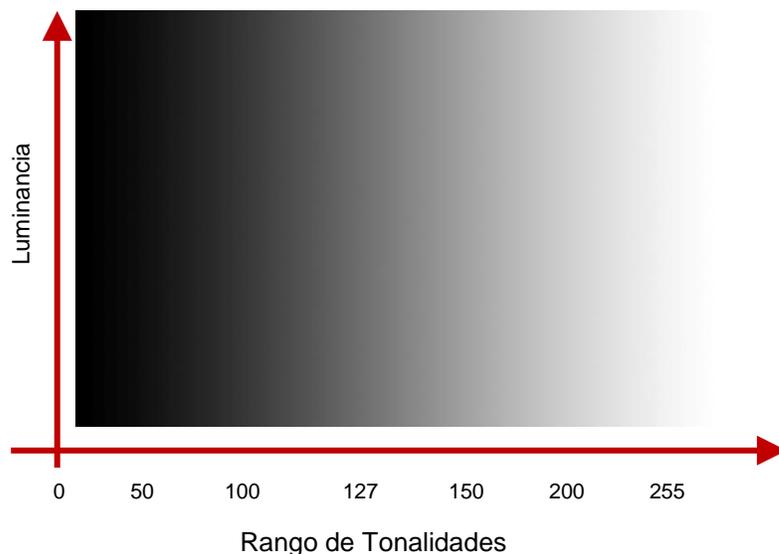


Figura 12. Rango de tonalidades a representación de 8 bpp

En una imagen digital obtendremos una matriz de luminancias que nos muestra la intensidad de los pixeles de la imagen, los cuales tienden a cambiar en las diferentes zonas que se tienen en la imagen.

2.2.4 SISTEMA VISUAL HUMANO

Tenemos por entendido que es el único órgano encargado de la vista, pero en realidad la percepción que tiene el ojo humano de las características de una imagen es un proceso complejo el cual involucra tanto el funcionamiento de los ojos como del cerebro. Este proceso inicia desde que el ojo captura la imagen y esta imagen es enviada al cerebro para poder ser procesada y así el cerebro finalmente forme una imagen de lo que se está viendo. En la **Figura 13** se hace la representación de como funciona el Sistema Visual Humano.

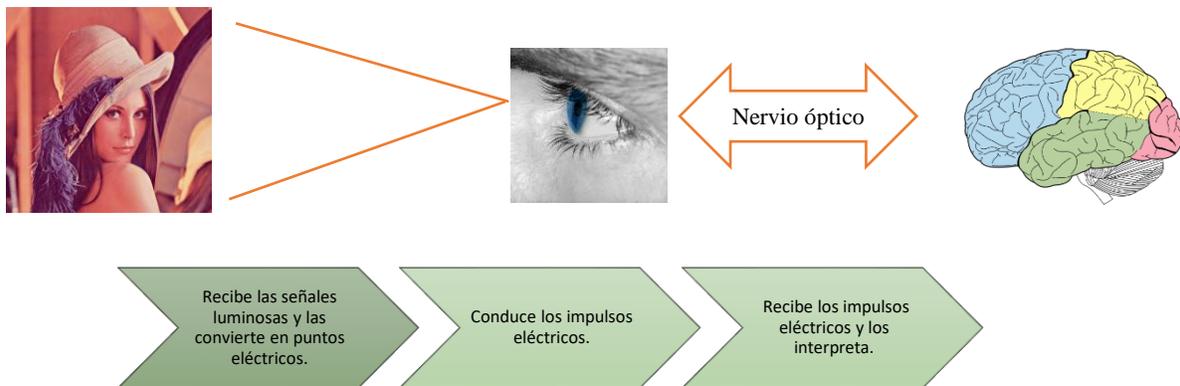


Figura 13. Representación de la captación de imágenes visuales

2.2.5 DISTORSIÓN APENAS PERCEPTIBLE (JND)

La Ley de Webber Fechner caracteriza la sorprendente relación entre la magnitud objetiva de un estímulo físico, y la percepción cognitiva de dicho estímulo. Concretamente, esta ley nos

indica que dicha relación no es lineal (ni siquiera considerando que se pueda producir una saturación en los extremos), sino logarítmica. Para verlo con un ejemplo, imaginemos que con los ojos vendados sostenemos un cierto peso en la mano; Un compañero va incrementando lentamente este peso hasta que nosotros advertimos que se ha producido un aumento perceptible. La magnitud de este incremento mínimo perceptible no es constante (esto es, independiente del peso inicial que sostenemos), como cabría esperar de una relación lineal entre estímulo y percepción, sino que es proporcional a dicho peso, lo que planteado como ecuación diferencial da lugar a la citada relación logarítmica.

Webber Fecher en su ley hace énfasis en la relación entre la magnitud cognitiva objetiva de un estímulo físico, y la percepción cognitiva de dicho estímulo [21]. Esto hace referencia al modelo JND (Just Noticeable Distorsion) el cual es un modelo aplicado al procesamiento de imágenes para determinar las zonas en las cuales al realizar un cambio en una imagen digital no haya un estímulo físico en la percepción de este cambio.

En la **Figura 14** podemos observar cuatro imágenes que han sido modificadas en características como brillo y contraste sin embargo para el Sistema Visual Humano parecieran ser iguales.

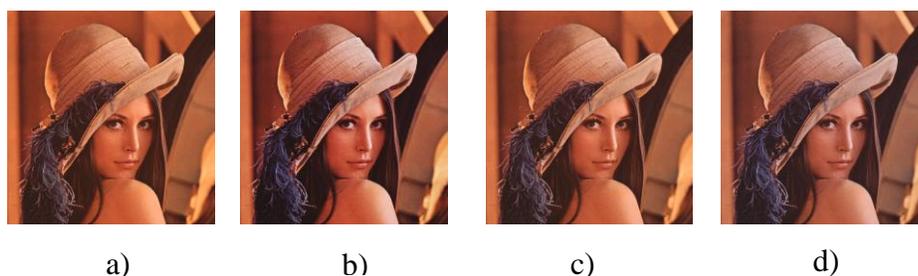


Figura 14. Imágenes con variaciones apenas perceptibles para el ojo humano

De igual forma en la **Figura 14** se puede observar que a) y b) simple vista no se percibirá un cambio significativo, sin embargo, cuando el cambio es más notable como se puede observar entre en la imagen a) y d), el HVS es capaz de percibir esta alteración. Para que el Sistema Visual Humano perciba estos cambios, el contenido visual debe ser alterado de forma que exista una variación considerable.

2.2.6 TRANSFORMADA DISCRETA DEL COSENO

El análisis y procesamiento de imágenes se puede realizar en dos dominios de trabajo los cuales son el dominio espacial y el dominio frecuencial [22]; el primero es el sistema matricial de coordenadas de una imagen obteniendo el valor de cada pixel mientras que el segundo es la imagen considerada como una función no periódica, cuyos ejes son determinados por la amplitud y la frecuencia de cada dirección de la imagen.

La Transformada de Coseno Discreto (DCT), es una formulada implementada para el análisis y procesamiento de imágenes que pasa la señal de la imagen del dominio espacial al dominio frecuencial, expresa una secuencia finita de puntos de datos en términos de una suma de coseno funciones oscilantes en diferentes frecuencias. Estos coeficientes de DCT son importantes para numerosas aplicaciones en la ciencia y la ingeniería, teniendo por ejemplo la compresión con pérdidas de audio (por ejemplo, MP3) y de imágenes (por ejemplo, JPEG) donde los componentes de alta frecuencia pequeños pueden ser desechados. El uso de coseno en lugar de seno funciones es crítica para la compresión, ya que resulta que se necesitan menos funciones coseno para aproximarse a una típica señal, mientras que para ecuaciones diferenciales los cosenos expresan una elección particular de las condiciones de contorno.

La transformada de coseno discreta (DCT) ayuda a separar la imagen en partes (sub-bandas espectrales) de importancia desigual (con respecto a la calidad visual de la imagen). La DCT es similar a la transformada de Fourier discreta: transforma una señal o imagen desde el dominio espacial al dominio de frecuencia con la diferencia que la DCT solo trabaja con los valores reales de la señal y los coeficientes espectrales.

Transformada de Coseno Discreto 1-Dimensión

La definición más común de la Transformada de Coseno Discreto para una señal $g(u)$ de longitud M es definida como [22]:

$$G(m) = \sqrt{\frac{2}{M}} \cdot \sum_{u=0}^{M-1} \left[g(u) \cdot c_m \cdot \cos\left(\pi \frac{m(2u+1)}{2M}\right) \right]$$

para $0 \leq m < M$.

Y la transformada inversa como

$$g(u) = \sqrt{\frac{2}{M}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \left[g(m) \cdot c_m \cdot \cos\left(\pi \frac{m(2u+1)}{2M}\right) \right]$$

para $0 \leq u < N$, respectivamente con

$$c_m = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{for } m = 0 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Transformada de Coseno Discreto 2-Dimensión

La forma de la DCT de dos dimensiones sigue inmediatamente de la DCT 1-D dando como resultado

$$G(m, n) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} \left[g(u, v) \cdot c_m \cdot \cos\left(\pi \frac{m(2u+1)}{2M}\right) \cdot c_n \cdot \cos\left(\pi \frac{n(2v+1)}{2N}\right) \right]$$

para $0 \leq m < M$, $0 \leq n < N$, y la transformada inversa

$$g(u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \cdot \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \left[G(m, n) \cdot c_m \cdot \cos\left(\pi \frac{m(2u+1)}{2M}\right) \cdot c_n \cdot \cos\left(\pi \frac{n(2v+1)}{2N}\right) \right]$$

para $0 \leq u < M$, $0 \leq v < N$.

Los coeficientes C_m y C_n en las ecuaciones son los mismo que el coeficiente presentado en la DCT 1-D.

Clasificación de Frecuencias

La entrada de la DCT es una matriz $N \times N$ la cual normalmente suele ser de 8×8 siguiendo un estándar, y la matriz de salida son contienen números enteros [23].

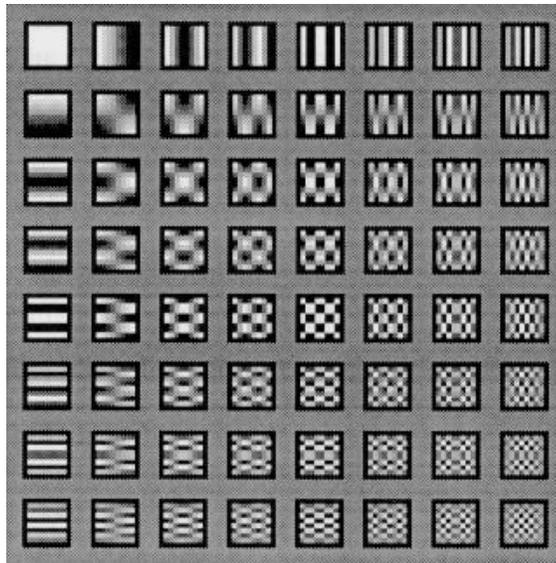


Figura 15. Representación de frecuencias DCT [24]

Como observamos en la **Figura 155**, la DCT agrupa la frecuencia de valores de una imagen cuantificando desde las más altas frecuencia a las más bajas frecuencias, estos datos son importantes para varios procesos *uno* de ellos es la compresión de imágenes. La clasificación de frecuencia de la DCT se puede observar en la **Figura 166**.

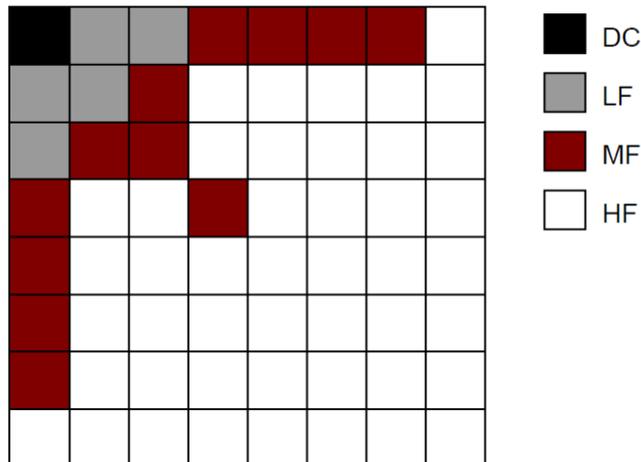


Figura 16. Clasificación de Frecuencias de la DCT [25]

Como observamos en la matriz la DCT acumula las frecuencias de la imagen de la cual podemos observar 4 grupos: el bloque DC; el cual acumula la mayor cantidad de energía de una imagen, los bloques LF; son los bloques son se almacenan las bajas frecuencias, bloques MF; en estos

bloques encontramos las media frecuencias y los bloques HF; estos bloques son donde podemos encontrar las frecuencias altas.

Ventajas de la DCT

El uso de la DCT permite una buena capacidad de compactación de la energía con al dominio transformado con respecto a la DFT, esto quiere decir, que la Transformada Discreta del Coseno consigue concentrar a la mayor parte de la información en pocos coeficientes. Al igual que al aplicar la DCT a una imagen se logra un procesamiento más rápido y como se mencionó anteriormente más preciso sobre la información de la imagen.

Por otra parte, la DCT tiene una interpretación frecuencial de los componentes transformados, esta capacidad frecuencial permite poder interpretar los coeficientes desde el punto de vista frecuencial aprovechando así al máximo la capacidad de compresión.

CAPÍTULO III

CAPITULO III DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se hizo uso de las características mencionadas en el **Capítulo II**, estas características son analizadas por medio de la DCT, en el cual se evaluaron estas características para poder hacer el cálculo del JND de la imagen en bloques de 8x8 pixeles con lo cual se determinará el factor de inserción de la marca de agua en dicha zona.

3.1 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Hoy en día existen varios algoritmos para la inserción de marcas de agua en imágenes basado en características independientes de la imagen a marcar, sin embargo, un sistema que realice este mismo procedimiento, pero considerando el HVS y el impacto que tiene hacia la percepción del ojo humano tomando como referencia característica de la propia imagen es innovador y creativo. A continuación, se describe la metodología implementada para el desarrollo del proyecto, así como la especificación de cada uno de los procesos que se ocuparon para la realización de éste.

El sistema se encuentra constituido por 2 etapas primordiales; la primera corresponde al Cálculo y Análisis del JND de la imagen original, y la segunda hace referencia al proceso de Inserción de la Marca de Agua, el diagrama a bloques se muestra en la **Figura 17**, a continuación, se explica a detalle cada una de las etapas mencionadas.

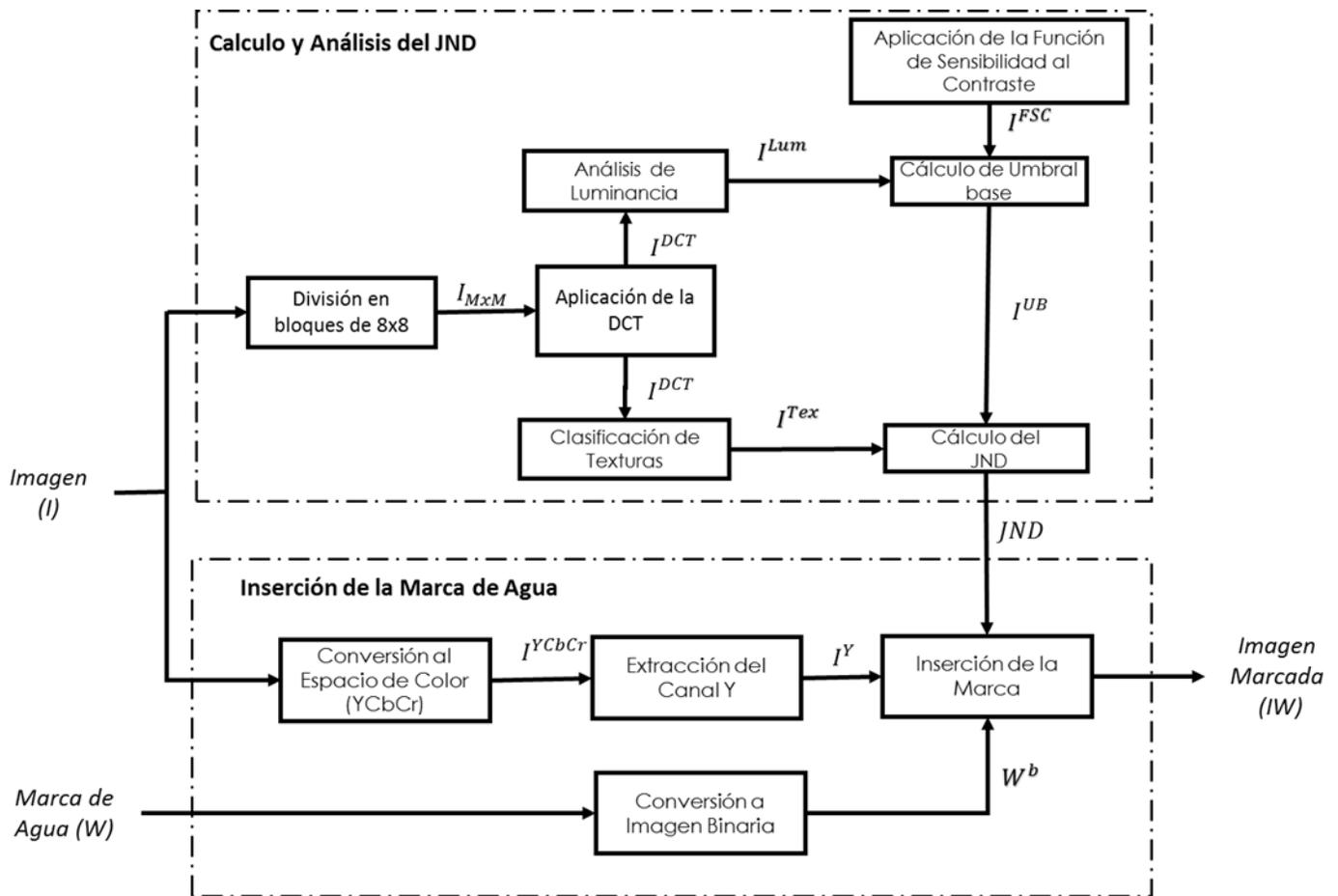


Figura 17. Diagrama a bloques del Sistema Computacional

3.1.1 CALCULO Y ANALISIS DEL JND

Aplicación de la DCT

En este modelo, la imagen portadora es dividida en bloques no traslapados de 8x8 pixeles a los que posteriormente se aplicara la DCT en cada uno de los bloques de la imagen para la obtención de 64 coeficientes DCT, divididos en un coeficiente DC y 63 coeficientes AC, clasificados en Altas Frecuencias (HF), Medias Frecuencias (MF) y Bajas Frecuencias (LF) como se muestra en la **Figura 16**, con los respectivos bloques se ocuparan las frecuencias para realizar un procesamiento de las características individuales que se mencionaron en el **Capítulo II**.

En la **Figura 18** se muestra un ejemplo de cómo la imagen es dividida en bloques de 8x8 no traslapados y se cada bloque se obtienen sus frecuencias correspondientes clasificadas como se mencionó anteriormente.

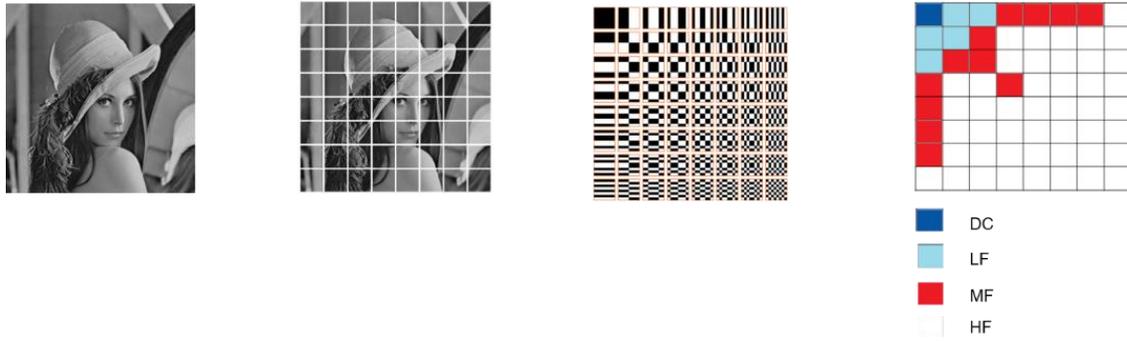


Figura 18. Aplicación de la Transformada Discreta del Coseno

Estos coeficientes van a ser utilizados para extraer las características de la imagen que se ocuparan para el modelo JND, con estos coeficientes de puede determinar la energía de la imagen los cual será de utilizada para determinar el valor de las características de cada bloque de la imagen dividida.

Analisis de Luminancia

Posteriormente a las frecuencias de cada bloque se le aplica una Adaptación de Luminancia permite calcular las zonas de luminosidad perceptibles en una imagen digital mediante el uso de los coeficientes DC de los bloques no traslapados de la imagen portadora, como se muestra en la ecuación 2, con lo cual se van a determinar las zonas con mayor luminancia de la imagen portadora.

$$I_m^{Lum} = \begin{cases} k_1 \left(-\frac{2DC_m}{I_m N} \right)^{\lambda_1} + 1, & 2DC_m \leq \frac{I_m N}{2} \\ k_2 \left(\frac{2DC_m}{I_m N} - 1 \right)^{\lambda_2} + 1, & \text{De otra manera} \end{cases} \quad (2)$$

donde $k_1 = 2$ y $k_2 = 0.8$ son valores definidos en [26]; $\lambda_1=3$ y $\lambda_2=2$ representan la distancia de visualización, I_m indica el valor de luminosidad del m -ésimo pixel de la imagen, DC_m representa el coeficiente DC del m -ésimo bloque de la imagen y N representa el tamaño del bloque analizado.

Con esta Adaptación de Luminancia se pretende obtener las zonas de luminosidad perceptibles de la imagen para poder resaltar las zonas con mayor y menor luminancia con el propósito de determinar las zonas óptimas para la inserción de la marca con respecto a esta característica.

Aplicación de la Función de Sensibilidad al Contraste

Para determinar el nivel de contraste de la imagen se hace uso de la Aplicación de la Función de Sensibilidad al Contraste la cual representa el efecto de la frecuencia espacial en la sensibilidad del HVS, donde el umbral de visibilidad es una función de la luminancia de fondo L y las frecuencias espaciales f . Este umbral mínimo I_m^{FSC} se describe en la ecuación 3.

$$I_m^{FSC} = \frac{I_m}{N(I_{max}^L - I_{min}^L)} f(i, j) \quad (3)$$

donde I_{max}^L y I_{min}^L representan el valor de luminancia máximo y mínimo de los pixeles de la imagen respectivamente; I_m es el valor de luminosidad del m -ésimo pixel de la imagen (0-255), N representa el tamaño del bloque analizado y $f(i, j)$ representa las frecuencias espaciales, las cuales son establecidas en 6 ciclos por segundo debido a que el HVS percibe mejor los cambios en este número de ciclos por segundo [27].

A partir del Análisis de la Luminancia y la Aplicación de la Función de Sensibilidad al Contraste, se calcula el Umbral Base donde se combinan los valores obtenidos previamente, mediante la ecuación 4.

$$I^{UB} = I_m^{Lum} \cdot I_m^{FSC} \quad (4)$$

En la **Figura 19** se puede observar una representación de la combinación del Análisis de la Luminancia con la Función de Sensibilidad al Contraste, teniendo como resultado el umbral base para el cálculo del JND.



Figura 19. Umbral Base

Clasificación de Texturas

Finalmente se calcula la última característica evaluada en el sistema propuesto es la textura de la imagen digital, a través de la Clasificación de Texturas de la imagen, mediante la ecuación 5.

$$I_m^{Tex} \begin{cases} \text{Caso 1: } TexE \leq \mu_1 & \text{Bloque Plano,} \\ \text{Caso 2: } \mu_1 < TexE \leq \mu_2 & \text{Bloque Borde,} \\ \text{Caso 3: } \mu_2 < TexE \leq \mu_3 & \text{Bloque Borde,} \\ \text{Caso 4: } TexE > \mu_3 & \text{Bloque Textura.} \end{cases} \quad (5)$$

donde MF_m y HF_m representan los coeficientes AC de medias y altas frecuencias del m -ésimo bloque de la imagen, , $\mu_1 = 125$, $\mu_2 = 290$ y $\mu_3 = 900$ son rangos de frecuencia para determinar el tipo de bloque de la imagen definidos en [9], y $TexE_m$ es la Energía de la Textura del m -ésimo bloque de la imagen, la cual es calculada por medio de la suma del promedio de las medias y altas frecuencias como se muestra en la ecuación 6.

$$TexE_M = \bar{M} + \bar{H} \quad (6)$$

En la **Figura 20** se muestra cómo se realiza la clasificación de texturas la imagen digital, obteniendo como resultado un análisis de las zonas con texturas, zonas de bordes y zonas planas de la propia imagen.



Figura 20. Clasificación de Texturas

Calculo del JND

Una vez obtenidos los valores del Umbral Base y de la Clasificación de Texturas se realiza el cálculo del modelo JND, este modelo utilizara tres características de la imagen portadora para determinar los valores máximos y mínimos de distorsión aplicables multiplicando cada valor de los bloques obtenidos de I_m^{UB} y I_m^{Tex} de a la imagen mediante la ecuación 7, con base a la luminosidad, contraste y texturas.

$$JND_m = I_m^{UB} * I_m^{Tex} \quad (7)$$

En la **Figura 21** se muestra un ejemplo de cómo se realiza la función de los valores obtenidos a lo largo de todo el proceso para obtener el umbral del modelo JND.

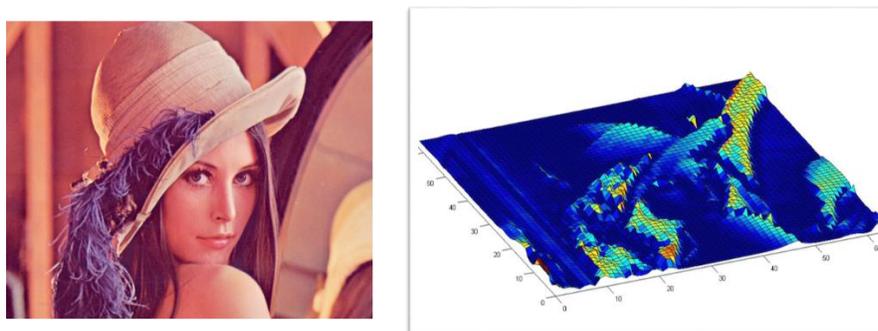


Figura 21. Cálculo de la Distorsion Apenas Perceptible

Una vez realizado el Cálculo del JND, se obtendrán los valores con los cuales se determinará el factor de inserción de la marca de agua en la imagen portadora correspondiente a cada bloque con los cual en cada región de la imagen se aplicará un factor de inserción diferente con lo cual se asegurará de no modificar el contenido visual de la imagen, pero al mismo tiempo mantener la robustez de la imagen marca.

3.1.2 INSERCIÓN DE LA MARCA DE AGUA

Conversión a YCbCr

La imagen portadora se convertirá del espacio de color RGB al espacio de color YCbCr, para la utilización del plano Y de la imagen en el cual se realizará la inserción de la marca de agua visible. En la **Figura 22** se muestra cómo se realiza la extracción del plano Y de la imagen portadora; en este espacio de color se tienen tres planos: plano Y el cual representa la luminancia total de la imagen, el plano Cb el cual representa el croma de color azul y finalmente el plano Cr representando el croma de color rojo de la imagen.



Figura 22. Conversión al espacio de color YCbCr

Conversión a Imagen Binaria

La marca de agua pasara por un preprocesamiento antes de ser insertada dentro de la imagen portadora, en la cual se obtendrá la imagen binaria y posteriormente se le aplicara la ecuación 8

$$Imagen\ Marca = \begin{cases} -x, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

para tener el negativo de la imagen marca con la finalidad de evitar problemas con el fondo de la imagen marca al momento de ser insertada, en la **Figura 23** se muestra cómo se lleva a cabo este preprocesamiento de la imagen marca a utilizar.



Figura 23. Preprocesamiento de la imagen marca

Inserción de la Imagen Marca

Finalmente, después de realizar la extracción del plano Y de la imagen portadora y el preprocesamiento de la imagen marca a insertar, se utilizarán los valores JND obtenidos en la ecuación 5, los cuales serán interpolados en el rango de 0.07 a 0.5, estos nuevos valores interpolados del JND determinarán el factor de inserción de la marca de agua.

Entonces, teniendo el Plano Y de la imagen portadora, la imagen marca en binario y los valores JND interpolados se procede a la inserción de la marca de agua, mediante la ecuación 9.

$$IW = I_m * (1 - JND_m^i) + (W_m * JND_m^i) \quad (9)$$

donde I_m representa el valor de luminosidad del m -ésimo pixel de la imagen portadora, JND_m^i indica el valor interpolado del JND del m -ésimo pixel de la imagen y W_m representa el valor de luminosidad del m -ésimo pixel de la imagen marca.

CAPÍTULO IV

CAPITULO IV PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 ESCENARIO DE DESARROLLO

Para el desarrollo del sistema propuesto se realizaron en los siguientes dispositivos con el software que se menciona a continuación:

- HP Sistema Operativo Windows 10, 16 GB RAM, Procesador Intel Core i7 2.3 GHz.
- MatLab 2015b

4.2 ESCENARIOS DE PRUEBAS

Las características donde se realizaron las pruebas del sistema son las siguientes:

- HP Sistema Operativo Windows 10, 16 GB RAM, Procesador Intel Core i7 2.3 GHz.
- Matlab 2015b
- Tipos de imágenes: JPG, TIFF
- Resolución de imágenes: 512 x 512 px, 1600 x 899 px, 552x 310. px

4.3 PRUEBAS DEL CÁLCULO Y ANALISIS DEL JND

Para la realización de las pruebas del sistema propuesto se utilizaron 4 imágenes con una resolución de 512 x 512 píxeles, en formato .tiff las cuales fueron tomadas de la base de datos USC-SIPI [28] las cuales son comúnmente utilizadas en el área de procesamiento digital de imágenes. Se utilizaron dos imágenes como marca de agua a color en formato .jpeg con una resolución 169x 169 píxeles y 235x175 píxeles respectivamente las cuales se muestran en la **Figura 24**.

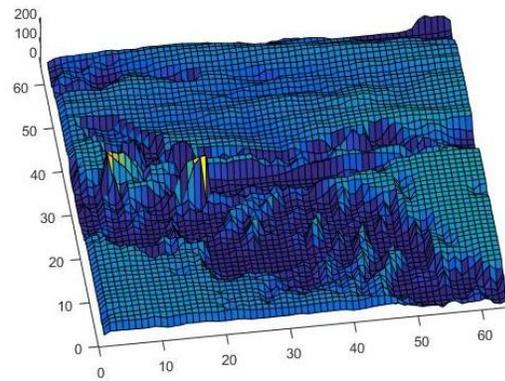


Figura 24. Imágenes Marca

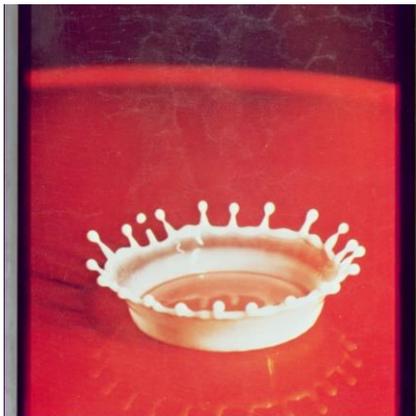
Las imágenes mostradas en la **Figura 25**, son el resultado del análisis del Umbral de Distorsión Apenas Perceptible en la cual se muestra la imagen original y los valores de JND obtenidos de cada imagen respectivamente.



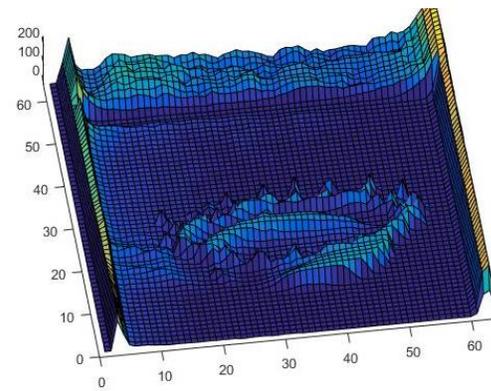
(i)



(ii)



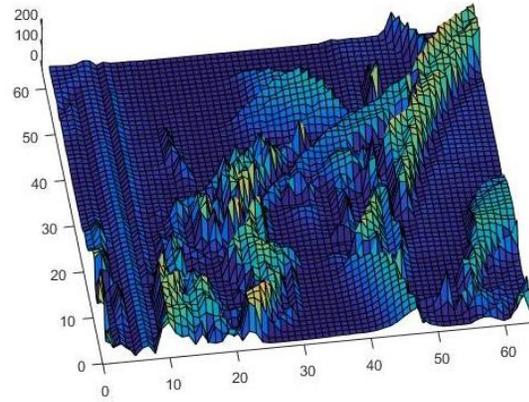
(i)



(ii)



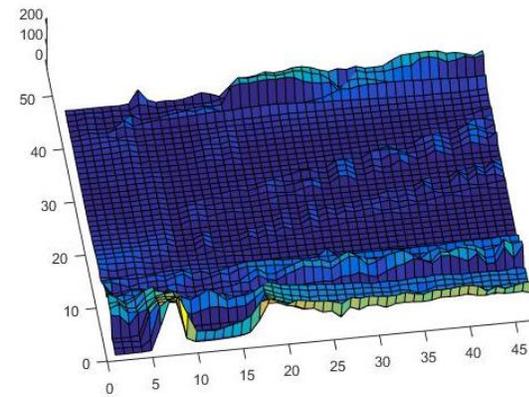
(i)



(ii)



(i)



(ii)

Figura 25. Resultados de la obtención del modelo JND: (i) Imagen Original, (ii) Umbral de Distorsion Apenas Perceptible (JND)

Como se observa en la figura 9(ii) las regiones del Umbral de Distorsion Apenas Perceptible con tonalidades azules representan las regiones de la imagen en las cuales cualquier cambio o alteración en la intensidad del pixel será altamente perceptible por el HVS, mientras que las regiones de tonalidades amarillas indican las regiones de la imagen en las cuales un cambio en la intensidad del pixel no es perceptible por el HVS, lo que permite realizar cambios sustanciales en la intensidad en estas regiones sin que se degrade la calidad de la imagen. Los valores del umbral de distorsión son determinados con base a las características analizadas de la imagen propuestas en el sistema: luminancia, contraste y textura. En el cual las regiones de la imagen que cuenten con altos niveles de luminosidad o zonas muy texturizadas resultaran en un valor de distorsión mayor esto debido a que en este tipo de regiones la perceptibilidad el ojo humano

es menor ante alguna alteración, en caso contrario en zonas de la imagen donde se puede encontrar zonas planas o de una intensidad de luminosidad media el valor resultante del umbral determina un rango menor de distorsión en el cual la perceptibilidad de cualquier cambio sería más notable ante el HVS.

4.3 PRUEBAS DE INSERCIÓN DE LA MARCA DE AGUA

La **Figura 26** muestra la aplicación de esta interpretación donde se realizaron las pruebas de inserción de la marca de agua visible con las imágenes mostradas en la figura 8 tomando en consideración como factor de inserción los valores del umbral de distorsión apenas perceptible interpolados en un rango de 0.07 a 0.5.



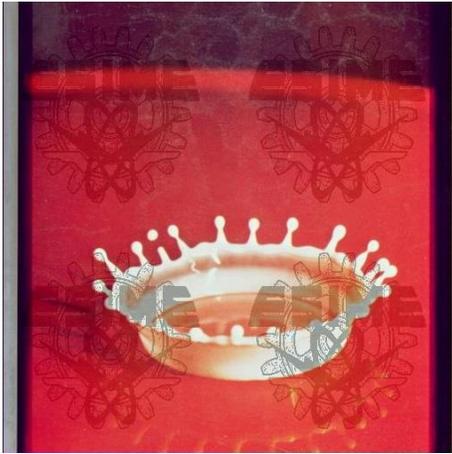
(i)



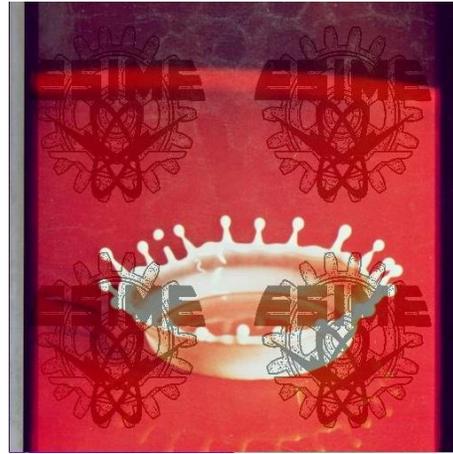
(ii)



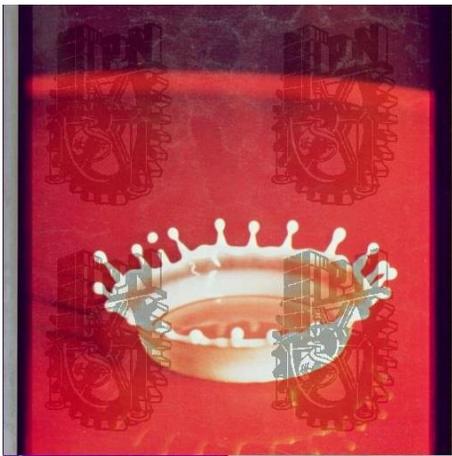
(i)



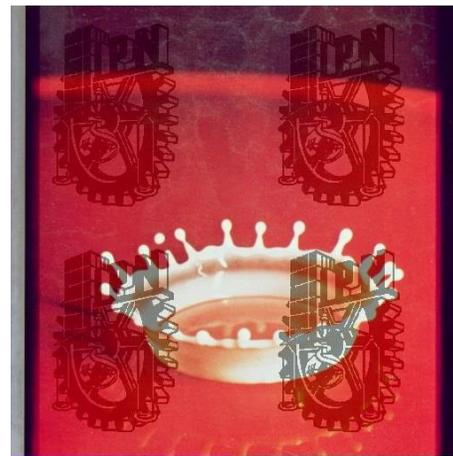
(ii)



(i)



(ii)



(i)



(ii)



(i)

(ii)



(i)



(ii)



(i)



(ii)



(i)



(ii)

Figura 26. Resultados de la inserción de la marca de agua visible: (i)Imagen marcada con el sistema propuesto, (ii)Imagen marcada con factor de inserción homogéneo $\alpha= 0.3$

En la **Figura 26** se presenta una comparación entre las imágenes marcadas con el sistema propuesto considerando el umbral de distorsión apenas perceptible y las imágenes marcadas con un factor de inserción homogéneo. En esta figura se observa que al realizar la inserción de la marca de agua visible con un factor de inserción homogéneo la calidad de la imagen a proteger se ve afectada por la propia marca de agua visible degradando su calidad, mientras que al insertar la marca de agua visible considerando el umbral de distorsión apenas perceptible de la imagen a proteger, se puede adaptar el factor de inserción de la imagen marca para que esta sea perceptible ante el HVS pero sin que la calidad de la imagen protegida se vea degradada.

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

El análisis de la textura, la luminancia y el contraste de la imagen digital por medio del modelo JND para obtener este umbral de distorsión, contribuye a que la inserción de una marca de agua visible guarde un equilibrio entre la robustez y la perceptibilidad; de igual manera al tomar en consideración más características de la imagen a proteger tales como el color, mejoraría el cálculo del umbral de distorsión.

Se puede concluir que el método propuesto cumple con el objetivo de insertar la marca de agua visible sin que esta degrade la calidad de la imagen a proteger y manteniendo su perceptibilidad ante el ojo humano.

REFERENCIAS

- [1] Himanshu Agarwal, Debashis Sen, Balasubramanian Raman and Mohan Kankanhalli. "Visible watermarking based on importance and just noticeable distortion of image regions". *Multimedia Tools and Applications*, 25p, 2015. Article in press.
- [2] S. Zhi, Y. Zhang, C. Yang and J. Liu, "Edge detection based JND model for digital watermarking," *2014 12th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, Hangzhou, 2014, pp. 875-879.
- [3] Y. Niu, J. Liu, S. Krishnan and Q. Zhang, "Combined just noticeable difference model guided image watermarking," *2010 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, Suntec City, 2010, pp. 1679-1684.
- [4] Z. Chen and H. Liu, "JND modeling: Approaches and applications," *2014 19th International Conference on Digital Signal Processing*, Hong Kong, 2014, pp. 827-830.
- [5] A. K. Singh, N. Sharma, M. Dave and A. Mohan, "A novel technique for digital image watermarking in spatial domain," *2012 2nd IEEE International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing*, Solan, 2012, pp. 497-501.
- [6] U. H. Panchal and R. Srivastava, "A Comprehensive Survey on Digital Image Watermarking Techniques," *2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Gwalior, 2015, pp. 591-595
- [7] "The Visual Perception of Images", Enero, 2018 [Online] :<https://engineering.purdue.edu/~bouman/ece637/notes/pdf/Vision.pdf>
- [8] Y. Niu, Q. Zhang, M. Kyan and S. Krishnan, "A combined just noticeable distortion model guided image watermarking," *6th International Conference on Digital Content, Multimedia Technology and its Applications*, Seoul, 2010, pp. 321-326.
- [9] Biblioteca de la Universidad de Cornell, Departamento de Investigación. Internet: <https://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial-spanish/intro/intro-08.html>, 2003
- [10] Retomado de: Llevando la Teoría a la Práctica [En línea] < <https://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial-spanish/intro/intro-08.html> >
- [11] Retomado de: Llevando la Teoría a la Práctica [En línea] < <https://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial-spanish/intro/intro-08.html> >
- [12] "Digitized image and its properties: Digital image properties", Septiembre, 1996 [Online]: <http://user.engineering.uiowa.edu/~dip/lecture/ImageProperties3.html>

- [13] Retomado de: [En línea] < <https://www.library.cornell.edu/preservation/tutorial-spanish/intro/intro-08.html> >
- [14] Retomado de: [En línea] http://2.bp.blogspot.com/_qgbgeLCKea4/S-Jsdw/s1600/complementarios.gif
- [15] Retomado de: [En línea] <<http://blog.panasonic.es/wp-content/uploads/2015/02/tutorial-paisaje5.jpg>>
- [16] Albert J. Ahumada, Heidi A. Peterson, "Luminance-model-based DCT quantization for color image compression," Proc. SPIE 1666, Human Vision, Visual Processing, and Digital Display III, (27 August 1992);
- [17] Retomado de: [En línea] https://image.freepik.com/iconos-gratis/control-de-contraste_318-9415.jpg
- [18] Retomado de: [En línea] http://www.aloj.us.es/galba/digital/cuatrimestre_ii/imagen-pagina/color/contr00.jpg
- [19] Retomado de: Sistemas Cromáticos del Color [En línea] <http://image.slidesharecdn.com/ud5-elcolor818080734-lva1-app6892/95/ud5-el-color-14-638.jpg?cb=1439885705>
- [20] Retomado de: [En línea] < <http://avacablog.avacab-online.com/wp-content/uploads/11/Escala-Gris-Gamma-Negativo.jpg>>
- [21] Shirin Davarpanah Jazi, Matthew Heath, Weber's law in tactile grasping and manual estimation: Feedback-dependent evidence for functionally distinct processing streams, Brain and Cognition, Volume 86, 2014, Pages 32-41, ISSN 0278-2626,
- [22] W. Burger, M. J. Burge. (2009). Principles of Digital Image Processing – Core Algorithms (1ra ed.), Springer pp. 183 -190
- [23] N. Ahmed, T. Natarajan, K.R. Rao, "Discrete Cosine Transform," IEEE Transactions on Computers, vol. 23, no. 1, pp. 90-93, January, 1974
- [24] Retomado de: [En línea] < http://lh6.ggpht.com/_sTG/Syw3F7I/AJQ/e7GoJo/s1600/dctmap.png>
- [25] Retomado de: [En línea] < <http://avacablog.avacab-online.com/wp-content/uploads/2013/11/Escala-Gris-Gamma-Negativo.jpg>>
- [26] Yang, X.K. & Ling, W.S. & Lu, Z.K. & Ong, Ee & Yao, S.s. (2005). Just noticeable distortion model and its applications in video coding. Signal Processing: Image Communication. 20. 662-680. 10.1016/j.image.2005.04.001.

- [27] Scott Daly, "Engineering observations from spatiovelocity and spatiotemporal visual models", in Proc. of SPIE Human Vision and Electronic Imaging III, Vol.3299, pp180-191, San Jose, California, January 1998.
- [28] USC-SIPI. (1981). The USC-SIPI Image Database. Southern California. Recuperado de: <http://www.sipi.usc.edu/database/>