UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Filtros Wavelet óptimos para detección de ruido en imágenes SD y HD

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

GIBRAN JOEL RESENDIZ TOLENTINO

DIRECTOR DE TESIS

M. I. JUVENTINO CUELLAR GONZÁLEZ

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

AGRADECIMIENTOS

Gracias María del Carmen Tolentino Ángeles por darme la vida, por tolerarme y transmitirme un poco de tu sabiduría. Gracias abuelita Alberta Ángeles por transmitirme un poco de tu fuerza, gracias hermanos Osvaldo Reséndiz y Enrique Reséndiz por tolerarme y transmitirme algo de vuestros conocimientos. Gracias a mis tíos Vero Tolentino y Juan Correa por acercarse a mí, a mis tíos Rosa Tolentino y Alejandro Vázquez por siempre buscar ayudarme, a mi tía Cenorina que desde lejos piensa en mí, a mis primas Ana Belén Vázquez y Karina Vázquez por los momentos divertidos.

Quiero agradecer de manera especial al M. I. Juventino Cuellar González por darme consejos y apoyarme en esta última etapa de mi carrera, al M. I. Ludwin Ventura López López que me ha apoyado durante la tesis y me ha aconsejado como un amigo. A todos los maestros que he tenido les debo tanto conocimiento y los admiro profundamente. Entre ellos quiero mencionar al primer maestro que me mostró de una forma diferente el mundo de las matemáticas, del CCH Oriente, el maestro Ricardo Cabrera.

Gracias a esas personas que estuvieron conmigo y con las que aprendí, gracias a esas personas con las que aprendí de diferente manera, gracias a esas personas cuya cercanía era especial para mí y que fueron una parte importante en mi vida, gracias a las carretas de monos y sobre todo gracias a ese concepto extraño por el cuál daría mi vida.

"Por una fracción de segundo entre la pérdida de todo lo que sabía antes y la adquisición de todo lo que sabría después, conseguí abarcar en un solo pensamiento el mundo de las cosas tal como era y el de las cosas como hubieran podido ser y me di cuenta de que un solo sistema lo incluía todo. El mundo de los pájaros, de los monstruos, de la belleza de Or era el mismo que aquél donde había vivido siempre…"

Ítalo Calvino.

ÍNDICE

Capítulo I INTRODUCCIÓN 1
Capítulo II FILTROS WAVELET 5
2.1 CONVOLUCIÓN 6
2.1.1 Transformada de Fourier en Imágenes 7
2.2 ANÁLISIS MULTIRESOLUCIÓN 8
2.2.1 Codificación de Sub-bandas 9
2.2.2 Decimación 9
2.2.2.1 *Down-sampling* 9
2.2.3 Banco de filtros 10
2.3 TIPOS DE FILTROS WAVELET 11
2.3.1 Introducción a Wavelet 11
2.3.2 Características Wavelet 13
2.3.3 Wavelets conocidas 14
2.3.3.1 *Haar* 14
2.3.3.2 *Daubechies* 14
2.3.3.3 *Symlet* 15
2.3.3.4 Coiflet 16
2.3.3.5 Biortogonal 16
Capítulo III TRANSFORMADA DISCRETA WAVELET 17
3.1 TIPOS DE FILTROS WAVELET 18
3.1.1 Señales estacionarias y no estacionarias 18
3.1.2 Señal Discreta 18
3.2 TRANSFORMADAS DE SEÑALES 19
3.2.1 Series de Fourier 19
3.2.2 Transformada de Fourier 19
3.2.3 STFT (Short Time Fourier Transform) 20
3.2.4 Transformada Discreta Wavelet 21
3.3 TRANSFORMADA WAVELET EN IMÁGENES 23
Capítulo IV SISTEMA DTH 26

4.1 INTRODUCCIÓN A DTH 27
4.1.1 Satélites 27
4.1.1.1 *Estación Terrena* 29
4.1.1.2 *Enlace Ascendente* 29
4.1.1.3 *Enlace Descente* 29
4.1.1.4 *PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)* 30
4.1.1.5 *Transpondedor* 30
4.1.1.6 *LNB (Low Noise Block)* 30
4.1.1.3 *Huella* 30
4.2 ASPECTOS IMPORTANTES DE DTH 32
4.2.1 Operadores Satelitales 32
4.3 ARQUITECTURA DTH 32
4.3.1 Conectividad y Gestión del sistema 32
4.3.1.1 *Enlace de Recepción* 33
4.3.1.2 *Enlace de Transmisión* 34
4.3.1.3 *Gestión* 35
4.3.2 Satélites Geoestacionarios 36
4.3.3 Instalación de Recepción 37
4.3.3.1 *Antena Parabólica* 37
4.3.3.2 *Importancia del LNB* 38
4.3.3.3 *Cable coaxial* 38
4.3.3.4 *IRD (Integratde Receiver and Decoder)* 38
4.3.4 Estándares del sistema DTH 38
4.3.4.1 *DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite)* 38
4.3.4.2 *MPEG-2 (Motion Picture Expert Group - 2)* 39
4.3.4.3 *MPEG-4 (Motion Picture Expert Group - 4)* 39
4.3.4.4 *HEVC (High Efficiency Video Coding)* 40
4.3.4.5 *RCA (Radio Corporation of America)* 40
4.3.4.6 *HDMI (High Definition Multimedia Interface)* 40
Capítulo V IMÁGENES SD E IMÁGENES HD 41
5.1 INTRODUCCIÓN 42

5.2 BREVE HISTORIA DE LA TELEVISIÓN 42
5.2.1 Exploración entrelazada 43
5.2.2 Exploración progresiva 43
5.2.3 CCD (Charge Coupled Device) 43
5.3 SISTEMAS Y ESTÁNDARES EN LA TELEVISIÓN 44
5.3.1 Televisión Analógica 44
5.3.1.1 *NTSC (National Television System Committee)* 44
5.3.1.2 *PAL (Phase Alternating Line)* 44
5.3.1.3 *SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire)* 45
5.3.2 Televisión Digital 45
5.3.2.1 *ATSC (Advance Televition Comitee)* 45
5.3.2.2 *DVB (Digital Video Broadcasting)* 45
5.3.2.3 ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting) 46
5.4 IMÁGENES SD E IMÁGENES HD 46
5.4.1 SDTV 46
5.4.2 HDTV 46
5.5 INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA IMÁGEN 49
5.5.1 Mejoramiento de la imagen 49
5.5.1.1 *Operación puntal* 50
5.5.1.2 *Operación local* 51
5.5.1.3 *Operación global* 52
5.6 ¿QUÉ ES LA IMAGEN DIGITAL? 52
5.6.1 Pixel (Picture Element) 52
5.6.2 Relación entre pixeles 52
5.6.3 Tipos de imágenes 52
5.6.3.1 *Imagen Indexada* 53
5.6.3.2 *Imagen a escala de grises* 53
5.6.3.3 *Imagen Binaria* 53
5.6.3.4 *Imagen de color RGB* 53

5.6.4 Imagen Digital....54
5.6.4.1 *Muestreo*....54
5.6.4.2 *Retención*....54
5.6.4.3 *Cuantificación*....54
5.6.4.4 *Codificación*....54
5.6.5 Ruido en la imagen digital....55
5.6.5.1 *Gaussiano*....55
5.6.5.2 *Impulsional*....56
5.6.5.3 *Uniforme*....56
Capítulo VI APLICACIÓN: FILTRADO DE IMÁGENES SD Y HD....59
6.1 DICCIONARIO DE TRANSFORMADAS WAVELET DISCRETAS....60
6.2 CÁLCULO DE ESTADÍSTICOS PARA LAS DIFERENTES SUB-BANDAS....63
6.2.1 Energía....63
6.2.2 Desviación Estándar....68
6.3 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DEL PATRÓN DE ESTADÍSTICOS QUE SUPERE DETERMINADO UMBRAL....71
Capítulo VII ESQUEMA DE APLICACIÓN....75
7.1 IMPLEMENTACIÓN WAVELET EN MATLAB....76
7.2 ANÁLISIS MEDIANTE WAVELETS Y ESTADÍSTICOS PARA DETECCIÓN DE RUIDO....76
Capítulo VIII CONCLUSIONES....80
Capítulo IX TRABAJO FUTURO....83
Capítulo X APÉNDICE....85
10.1 APÉNDICE A: COMPARACIÓN DE TRAMAS CON RUIDO SD Y HD POR ESTADÍSTICOS....86
10.2 APÉNDICE B: COMPARACIÓN DE WAVELETS POR ESTADÍSTICOS....91
10.3 APÉNDICE C: CÓDIGO....95
REFERENCIAS....98

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AC-3: Audio Codec 3, Advanced Codec 3, Acoustic Coder 3 (Codec de audio 3, Codec avanzado 3, Codec acústico 3).

ARIB: Association of Radio Industries and Business (Asociación de Industrias de Radio y Negocios).

AMR: Análisis Multirresolución.

ATSC: Advanced Television Systems Committee (Comité de Sistemas de Televisión Avanzada).

BSS: Broadcasting Satellite Service (Servicio de Difusión por Satélite).

CCD: Charge Couple Device (Dispositivo de Carga Acoplada).

COFDM: Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Codificación por División Frecuencias Ortogonales).

DBS: Direct Broadcasting Satellite (Satélite de Transmisión Directa).

DTH: Direct to Home (Directo al Hogar).

DVB-S: Digital Video Broadcasting Satellite (Difusión de Video Digital Satelital).

DVB-C: Digital Video Broadcasting Cable (Difusión de Video Digital por Cable).

DVB-T: Digital Video Broadcasting Terrestrial (Difusión de Video Digital Terrestre).

ETSI: European Telecommunications Standars Institute (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones).

FI: Frecuencia Intermedia.

FIR: Finite Impulse Response (Respuesta al Impulso Finita).

FM: Frecuencia Modulada.

FSS: Fixed Satellite Service (Servicio Fijo por Satélite).

GEO: Geoestationary Earth Orbit (Órbita Geoestacionaria Terrestre).

H.624/AVC: H-624/Advance Video Coding (Codificación Avanzada de Video).

HBO: Home Box Office (Taquilla en casa).

HD: High Definition (alta definición).

HDMI: High Definition Multimedia Interface (Interface Multimedia de Alta Definicióm)**.**

HDTV: High Definition Television (Televisión de Alta Definición).

HEO: Highly Elliptical Orbit (Órbita Altamente Elíptica).

HH: High-High (Alta-Alta).

HL: High-Low (Alta-Baja).

INTELSAT: International Telecomunication Satelite (Satélite de Telecomunicaciones Internacional).

IRD: Integrated Receiver and Decoder.

LEO: Low Earth Orbit (Órbita Baja Terrestre).

LH: Low-High (Baja-Alta).

LL: Low-Low (Baja-Baja).

LNA: Low Noise Amplifier (Amplificador de Bajo Ruido).

LNB: Low Noise Block (Bloque de Bajo Ruido).

LNC: Low Noise Converter (Convertidor de Bajo Ruido).

MEO: Medium Earth Orbit (Órbita Media Terrestre).

MPEG: Motion Picture Expert Group (Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento).

NTSC: National Televition System Comitee (Comité Nacional de Sistema de Televisión).

OFDM: Orthogonal Frecuency Divition Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales).

PAL: Phase Alternative Line (Línea de Fase Alternada).

PC: Personal Computer (Computadora Personal).

PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.

PVR: Personal Video Recorder (Grabador de Video Personal).

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud de Cuadratura).

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento de Fase de Cuadratura).

RCA: Radio Corporation of America (Corporación de Radio de América).

SECAM: Séquentiel Couleur à Mémoire (Color Secuencial con Memoria).

SD: Standar Definition (Definición Estándar).

SDTV: Estándar Definition Television (Definición Estándar de Televisión).

STFT: Short Time Fourier Transform (Transformada de Fourier de Tiempo Corto).

SVCD: Super Video CD.

TDF: Transformada Discreta de Fourier.

TDW: Transformada Discreta Wavelet.

TF: Transformada de Fourier.

TT&C: Telemetry Tracking and Comand (Telemetría, Rastreo y Control).

TW: Transformada Wavelet.

VCD: Video CD.

VHS: Video Home System (Sistema de Video Casero).

VSB: Vestigal Sideband (Banda Vestigial).

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

La imagen y el video digital han sido convertidos en formatos binarios para su manipulación computacional, de tal manera que los objetivos se basan en los métodos para la eficiente transmisión, mantenimiento y mejoramiento de la correspondiente visión. Si bien, la imagen es convertida de una forma a otra durante el proceso, expuesta a la distorsión por causa del ruido, requiriendo algoritmos que lo remuevan sin afectar la estructura de la imagen. El origen de las imágenes digitales fue en los 20s por una transmisión de cable submarino entre Nueva York y Londres para la industria de la imprenta, concentrándose en el tiempo de transporte, la codificación de envío y la reconstrucción de la señal. En este momento el mayor problema fue la distribución de los niveles de intensidad. Con el paso del tiempo se fueron desarrollando nuevas técnicas e incrementando los niveles de intensidad para su codificación. Pero las ideas relevantes al desarrollo fue el coste de computación digital, la memoria para cargar el programa y los datos e instrucciones de programación condicional. Fue hasta 1960 cuando se pudo obtener el suficiente poder computacional para técnicas más vertiginosas [GW08].

En la actualidad hay una búsqueda constante en el desarrollo de algoritmos con relación al mejoramiento de la imagen y la creciente calidad en estándares de servicios multimedia, siendo el filtrado de imágenes una parte del mejoramiento de gran relevancia [RS12], tal es el caso del sistema de televisión satelital DTH (Direct to Home). La arquitectura del servicio satelital requiere de varios estándares durante todo el proceso de transmisión, el hacer una modificación en cuanto al tipo de procesamiento en la decodificación de la señal sería una inversión poco rentable, requiriendo de permisos e innovaciones en cuanto al hardware, una posible etapa fuera de los estándares es viable para el sistema, sin embargo, se necesita conocer el funcionamiento de aplicaciones en cuanto a la detección de ruido en las imágenes correspondientes al sistema.

El objetivo de este trabajo de tesis es que mediante una herramienta matemática con auge de hace tres décadas pasadas, hacer una detección de ruido en imágenes cuya utilidad se encuentra en la televisión satelital, aplicando dicha detección en imágenes con definición estándar (SD) y alta definición (HD) durante una pensada etapa final que no involucre cambios en los estándares definidos. Se planea desarrollar la aplicación utilizando un software accesible en el tratamiento de matrices como lo es MATLAB obteniendo y leyendo una serie de tramas de video. Se busca la selección del mejor filtro tomando en consideración el aporte del software, sin embargo, se puede desarrollar para un trabajo futuro que complemente al sistema DTH. Para ello se basará en la Teoría Wavelet desarrollada en un entorno digital utilizando la Transformada Discreta Wavelet (TDW). Se aplicará un conjunto de wavelets conocidas con el fin de encontrar la mejor detección

entendiéndolo como la mayor cantidad de ruido, las herramientas matemáticas para la selección de un umbral detector de ruido son básicamente los estadísticos de energía y desviación estándar. El método empleado es conocido como método heurístico; mediante el previo conocimiento de las imágenes a tratar se analizarán los fenómenos presentes en gráficos resultantes de los dichos estadísticos [RS12]. Se hará una evaluación en cuanto al mejor filtro con todos los resultados obtenidos en su etapa de análisis de la imagen.

Al finalizar las pruebas se buscará que los resultados en los estadísticos identifiquen el umbral que diferencia los pixeles ideales de los pixeles con ruido. El tomar dicho umbral como referencia es el último paso de la tesis, con el umbral definido se aplicará un código clasificador binario conocido para obtener una corroboración de la detección de ruido en tramas de video con la wavelet que otorgue mayor información en energía y en desviación estándar.

En el presente escrito se tratarán temas desde el proceso de captura de la imagen y el papel que desempeña en la actualidad con los sistemas y estándares para televisión vía satélite hasta el fundamento matemático cuya búsqueda de nuevos modelos es lo que conlleva a un esperado filtro óptimo.

En el capítulo dos se adentrará al entorno general de lo que es el filtrado digital por medio de transformaciones, las bases para que se lleve a cabo el procesamiento digital. De igual manera se comenzará a introducir el concepto de *Wavelet* cuyo significado es fundamental para el desarrollo de la aplicación, siendo así, se resaltarán sus características y posteriormente identificaremos la colección más conocida de *Wavelets.*

El tercer apartado se concentra en toda la teoría matemática desarrollada con el paso del tiempo hasta la llegada de la Teoría Wavelet, con antecedentes como la Transformada de Fourier (TF) y La transformada Corta de Fourier (con sus siglas en inglés STFT), prácticamente son los métodos revolucionarios para el procesamiento digital. Posteriormente se darán definiciones formales de la Transformada Discreta Wavelet (TDW) y cómo es que se desarrolla en las imágenes.

El cuarto capítulo englobará todo lo que compone el sistema DTH, de tal manera que se conocerán los estándares y conceptos para transmisión satelital, antecedentes de fenómenos y clasificación de señales en cuanto a frecuencia. De esta manera se planea generar al lector la estructura general de la innovación en cuanto a la comunicación satelital y los problemas que se pueden

suscitar en la transmisión como el retardo de los paquetes de bits enviados también conocido como ruido cuadriculado.

En el capítulo cinco se tratará todo lo que conlleva una imagen digital, empezando desde su captura, hasta los tipos de ruido que se presentan en ella. Se hablará de los estándares de transmisión, sistemas de televisión digital y analógica. Con el objetivo de que al final del capítulo se tenga noción de la historia de la imagen en la televisión y por sí misma en su desarrollo.

En el sexto capítulo se hará toda la implementación del filtro, se hablará de lo que describen los gráficos la segmentación de las tramas y su detección de ruido. Se compararán los estándares y los estadísticos aplicados para la detección de ruido. Estos estadísticos son la desviación estándar y la energía. Se aplicará esta prueba a diferentes archivos de video; para programas deportivos, programas de noticias y programas de películas.

En el capítulo siete se presentará el esquema general de lo que es la implementación del filtro y la detección mediante estadísticos. Se tratará el tema del software utilizado y la parte de la tesis en la que fue útil implementar este entorno de programación y no algún otro.

Por último se concluirá sobre el método empleado los resultados en comparación en cuanto a estándar SD y HD, comparación de cada wavelet y comparación entre sub-bandas. De igual manera se concluirá el posible trabajo espera a desarrollar para un seguimiento en la calidad de imágenes digitales.

Capítulo II

FILTROS WAVELET

2.1 CONVOLUCIÓN

Una herramienta matemática fundamental en el procesamiento de imágenes y en general en el tratamiento de señales es la convolución. Para entender el proceso de filtrado de una imagen digital con transformaciones Wavelet se describirá el proceso con una transformada más común como lo es la Transformada de Fourier y sus propiedades para llevar a cabo el conocer las bases en el proceso del filtro, no sin antes dar una definición de la convolución.

Una primera definición de la convolución en tiempo se representa matemáticamente con la siguiente expresión:

$$g(t) = (f * h)(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau \tag{2.1}$$

Siendo f una función dependiente de un periodo τ y h una función dependiente de la diferencia entre el periodo τ y el tiempo t. La resultante de la integral en 2.1 es la función convolución $g(t)$.

El filtrado en el dominio espacial discreto se lleva a cabo mediante máscaras o matrices deslizantes representando los filtros deseados para la imagen. La imagen se compone de $x \times y$ elementos o pixeles y el filtro (también conocido como matriz de convolución) consta de $h_r \times h_c$ elementos. Tanto la función imagen como la matriz de convolución son discretas y finitas para poder trabajarse de manera digital. La representación matemática del proceso de filtrado entre ellas es la siguiente [GCS11]:

$$Z'(x,y) = W(h_r, h_c) * Z(x,y) = \sum_{h_r=-k}^{k} \sum_{h_c=-l}^{l} W(h_r, h_c) \cdot Z(x-h_r, y-h_c) \tag{2.2}$$

Donde $Z(x,y)$ representa la imagen digital y $Z'(x,y)$ la imagen filtrada, mientras que $W(h_r, h_c)$ es la matriz deslizante con límites de referencia de un pixel de la imagen respecto al número de coeficientes de la matriz deslizante (k,l).

Ahora se indagará en la definición de la convolución en frecuencia, el concepto parte de la transformación de dos señales que se encuentran en el dominio temporal o espacial y al pasar al dominio frecuencial el producto de dichas señales o funciones genera una tercera función dependiente de la misma variable. Como se había mencionado se ejemplificará con

una transformada más conocida, sin embargo, en el desarrollo del siguiente capítulo se adentrará a detalles en cuanto a transformaciones, en este apartado se busca una comprensión general sólo para la utilidad en el procesamiento.

2.1.1 Transformada de Fourier en imágenes

Para realizar la convolución se toma en cuenta que las funciones son continuas y con la TF es posible trabajar en el dominio de la frecuencia, cuando se aplica la Transformada Inversa de Fourier se regresa al dominio del tiempo (en el caso de imágenes el dominio espacial). Trabajando tanto en frecuencia como en tiempo se definirá matemáticamente la convolución como el producto de dos funciones en frecuencia.

$$Y(\omega) = H(\omega) \cdot F(\omega) \tag{2.3}$$

Siendo $\omega = 2\pi f$, $H(\omega)$ representando la respuesta en frecuencia del filtro cuyo objetivo es la relación deseada entre la salida y la entrada, en este caso de un filtro digital, por último $F(\omega)$ es la señal de entrada y $Y(\omega)$ la señal de salida. De esta manera al utilizar la herramienta matemática en el dominio de la frecuencia las operaciones en el procesamiento de señales se vuelven mucho más fáciles y rápidas, de hecho tiene utilidad en diferentes aplicaciones referente al tratamiento de imágenes.

Para el caso de una imagen la TDF se representa como:

$$F(u,v) = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n) e^{-j2\pi(\frac{u}{M}m + \frac{v}{N}n)} \tag{2.4}$$

Donde $m\ y\ n$ son las coordenadas espaciales, $u\ y\ v$ son las dos frecuencias (ciclos/pixel) que se encuentran normalizadas por el número de celdas en la imagen $M\ y\ N$ para la función $f(m,n)$.

El regreso de la representación espacial de la imagen es mediante la aplicación de la Transformada Inversa Discreta de Fourier y se expresa como:

$$f(m,n) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} F(u,v) e^{j2\pi\left(\frac{u}{M}m + \frac{v}{N}n\right)} \tag{2.5}$$

Para modificar un filtro digital de manera tal que se ajuste a la señal de salida deseada se adecúa la respuesta en frecuencia $H(u,v)$ y se multiplica por la imagen en frecuencia como en la ecuación (2.4), se obtiene el resultado en el mismo dominio de frecuencia y posteriormente se aplica la Transformada Inversa Discreta de Fourier para pasar al dominio espacial.

La ventaja que se tiene en frecuencia son facilidades digitales que proporciona matemáticamente en el procesamiento digital, además de que se observa con mayor claridad la señal afectada por ruido en comparación con dominio del tiempo, siendo el principal objetivo dado que regularmente la distorsión de una señal se aprecia más en frecuencia.

Algunas características que proporciona la TDF para la modificación de la respuesta al impulso son las zonas en donde se concentra la energía de la imagen. En bajas frecuencias se encuentra la mayor cantidad de energía y con ello las zonas homogéneas de la imagen, en altas frecuencias se encuentran los detalles de la imagen como pueden ser los bordes y la mayor cantidad de ruido [GW08] y [ZAM10], aquí la cantidad de energía es menor.

2.2 ANÁLISIS MULTIRESOLUCIÓN

El Análisis Multiresolución (AMR) fue desarrollado para descomponer señales en tiempo discreto buscando una representación tiempo-escala modificando la escala y la resolución de la señal, el alcance se logra empleando filtros con diferentes frecuencias de corte para el análisis en diferentes escalas lo que proporciona un cambio en la resolución. En teoría es un análisis de señales en múltiples bandas de frecuencia [LES06]. Su fundamento matemático se basa en una secuencia de subespacios cerrados $V_{j\in Z}$ en $L^2(R)$.

Para $L^2(R)$ con (2.7) y los subespacios $V_{j\in Z}$ como (2.8). Formalmente $L^2(R)$ es un espacio vectorial con operaciones como adición y multiplicación por un escalar de funciones [FRA01].

$$L^2(R) = \left\{ f: R \to C \int_R |f(x)|^2 dx < +\infty \right\} \tag{2.7}$$

$$\cdots \subset V_2 \subset V_1 \subset V_0 \subset V_{-1} \subset V_{-2} \subset \cdots \subset L^2(R) \tag{2.8}$$

Cuando la resolución se incrementa y $j \to -\infty$ la función aproximada converge a la función original, por el contrario cuando $j \to +\infty$ la función converge a cero [LES06].

Como fundamento de la Teoría Wavelet se observa la distinción entre transformadas conocidas y se mostrará con mayor claridad cómo es que cada componente espectral no se resuelve como en el caso de la STFT.

2.2.1 Codificación de Sub-bandas

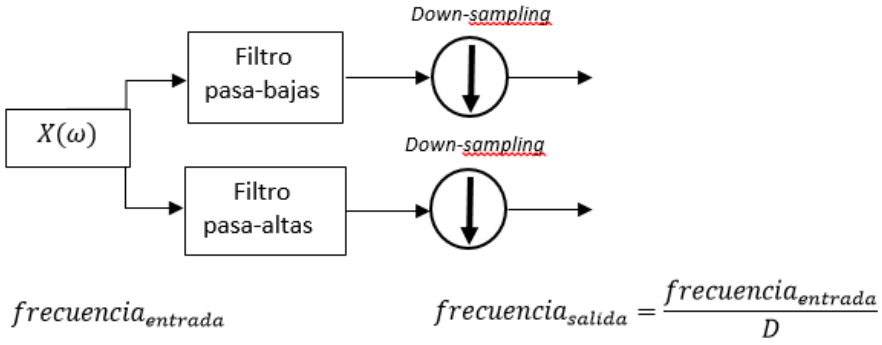
Pasando del lado computacional del proceso de filtrado Wavelet, para trabajar con zonas específicas de la imagen de manera independiente se busca su descomposición por medio de dos filtros de media banda, para altas y bajas frecuencias. La suma de las señales filtradas debe de ser la señal de origen filtrada. Sin embargo, un primer problema que se encuentra es la cantidad de muestras generadas al aplicar dichos filtros ya que por cada muestra de la señal se generan dos muestras más, lo que hace más lento el cálculo de las operaciones y con ello el procesamiento. El sub-muestreo o decimación es una forma de guardar la mitad de los puntos de los filtros sin que se pierda información de la señal, esta operación es la que modifica la escala de la señal. Básicamente la codificación de sub-banda consta de lo anterior, dividir la señal en dos o más sub-bandas, decimar cada señal de salida de la sub-banda y asignar un número de bits en cada muestra dependiendo de la energía [CAM03].

2.2.2 Decimación

Una definición más intuitiva es como la reducción de la tasa de muestreo de una señal tomando muestras periódicas de la señal original. En la imagen es necesario hacer cálculos que requieren un procesamiento completo, hacerlo sobre la resolución original de la imagen sería muy costoso, al aplicar este método se almacena la información relevante pero con menos muestras de tal manera que la imagen queda más pequeña.

2.2.2.1 Down-sampling

Este proceso reduce la frecuencia de muestreo de la entrada por un factor entero D, conocido como factor de downsampling [MAD06].

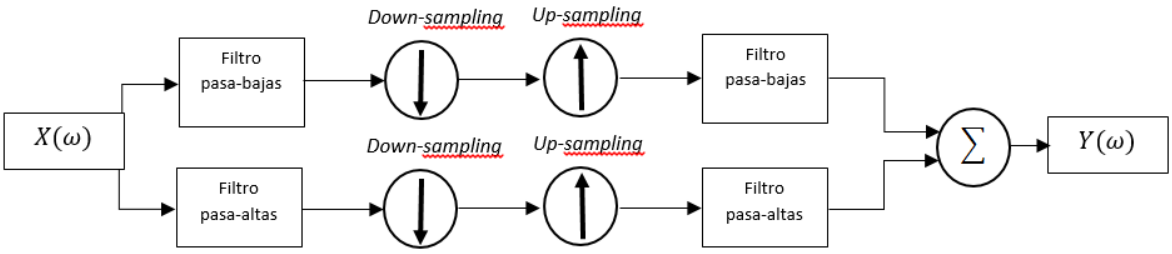


Esquema 2.2) Proceso de Análisis de Multiresolución

2.2.3 Banco de filtros

Ahora se adentrará a lo que conlleva tener una serie de filtros en paralelo como se muestra en el esquema 2.2. Dado que se tiene la finalidad del análisis de señales por diferentes intervalos del espectro, la serie de filtros que son acomodados buscando la división de la señal en sub-bandas, definidos como bancos de filtros, han encontrado una serie de aplicaciones como lo es la codificación de voz, compresión de imágenes, transmisión de varias señales a través del mismo canal, entre otras.

Existen dos tipos de bancos de filtros, los de análisis y los de síntesis. El banco de filtros anteriormente visto es de análisis, el banco de filtros de síntesis es el conjunto de filtros cuyas salidas son sumadas para generar la señal sintetizada. La representación del análisis y síntesis de la imagen digital se observa en el siguiente esquema.



Esquema 2.3) Análisis y síntesis de una señal.

Un problema que se presenta tanto en la frecuencia como en el tiempo, es el llamado aliasing; parte del muestreo de la señal y es un tipo de distorsión originado durante la descomposición en el proceso de AMR. Cuando la frecuencia de la señal es menor que la

permitida de acuerdo al teorema de Nyquist existe ambigüedad en la reconstrucción, generando una señal diferente debido a la perdida de información. Se detecta aliasing en el dominio de la frecuencia cuando el espectro de la señal sufre un traslape con las réplicas repetidas debido al down-sampling, es decir, antes de este proceso de decimación se requieren filtros paso-bajas que limiten el espectro y evitar aliasing [MAD06].

2.3 TIPOS DE FILTROS WAVELET

Más adelante se describirá con mayor detalle las ventajas de los filtros de interés con respecto a los demás, sin embargo, es necesario entender qué es lo que se busca con este tipo de filtrado así como algunos conceptos y bases matemáticas.

2.3.1 Introducción a Wavelet

El comienzo de las wavelet se encuentra desde 1909 con Alfred Haar quien encontró una base de funciones, que hasta 1984 con Alex Grossman y Jean Morlet fueron conocidas como wavelets, la primera aparición de las wavelets en procesamiento digital de señales se dio en 1986 con Stéphane Mallat. Un par de años después, Mallat junto con Yves Meyer crearon el concepto de Multiresolución y en 1989 con el rápido algoritmo the Fast Wavelet Transform se dio origen a nuevas y diversas aplicaciones en el campo de procesamiento digital [CHU10] y [CC95].

La wavelet se define como una pequeña onda, la cual tiene una energía concentrada en un cierto punto o posición espacial dada, o bien, podemos decir que su energía es finita. También se describen como un conjunto de funciones bases que permiten la representación de funciones, en este caso imágenes. Algunas de sus ventajas al emplear su transformación se encuentran en que puede trabajar con señales no estacionarias como lo hace la STFT y las señales no tienen que ser periódicas como las son en las Series de Fourier, además de que la resolución de la Transformada Wavelet es mejor que en los casos anteriores.

Al utilizar un filtro en una señal existen ciertas restricciones, como se observó anteriormente el manejo de imágenes puede ser en tiempo o en frecuencia. Si usamos la TF para el análisis en todo el eje del tiempo no podemos saber en qué instante se encuentra una

frecuencia en particular, por otro lado al utilizar la STFT la resolución tiempo-frecuencia es más clara al trabajar con ventanas.

El tema de la resolución es el punto “quisquilloso” a tratar, prácticamente es la diferencia de la selección de transformaciones y con ello de la calidad del filtro. Así como el principio de incertidumbre de Heissenberg el cual nos dice que existe un límite natural entre el momento y la posición, de tal manera que no se pueden determinar con absoluta precisión, se tiene una restricción parecida en los filtros, limitando la resolución en frecuencia y la resolución temporal [MAL09], se expresa con la desigualdad de 2.9.

$$\Delta\omega \cdot \Delta\tau \geq \pi \tag{2.6}$$

Siendo $\Delta\omega$ la resolución espectral de una frecuencia f y $\Delta\tau$ la resolución temporal de esta frecuencia.

Los filtros mencionados respetan dicho límite, sin embargo, lo hace con diferente precisión. En la figura 2.1 se observa un ejemplo de cómo la resolución dada la transformada STFT es modificada en sus ventanas, la resolución aplicando esta transformad respeta el área de los rectángulos tiempo-frecuencia. En la figura 2.2 la resolución de la TW es más precisa en cuanto al área de resolución. En el caso de querer una buena resolución en tiempo se toma una banda de frecuencias baja o, como bien se representa, la parte inferior en el enrejado. En cambio, si se desea una mejor resolución en frecuencia se debe seleccionar la banda de frecuencias alta (la parte superior del enrejado) [CAS02]. Prácticamente se debe al corrimiento de los ejes de tiempo y frecuencia la anchura y la estrechez de la resolución. Otra observación importante es que se muestra claramente la ubicación de la mayor parte de la imagen y la de los detalles, la mayor parte de la energía en las frecuencias bajas y la menor energía de la imagen en frecuencias altas, como se había mencionado aquí es donde se encuentra la mayor cantidad de ruido.

Es importante resaltar que debido a la restricción de la incertidumbre la resolución no muestra detalles deseados para una mayor claridad, sin embargo, en comparación con la transformada STFT puede decirse que es variable pues la anchura de la ventana en la WT va cambiando conforme se calcula cada componente espectral, también entendida como cada componente generada por las funciones sacaling y wavelet que conforma a la función representativa de la señal.

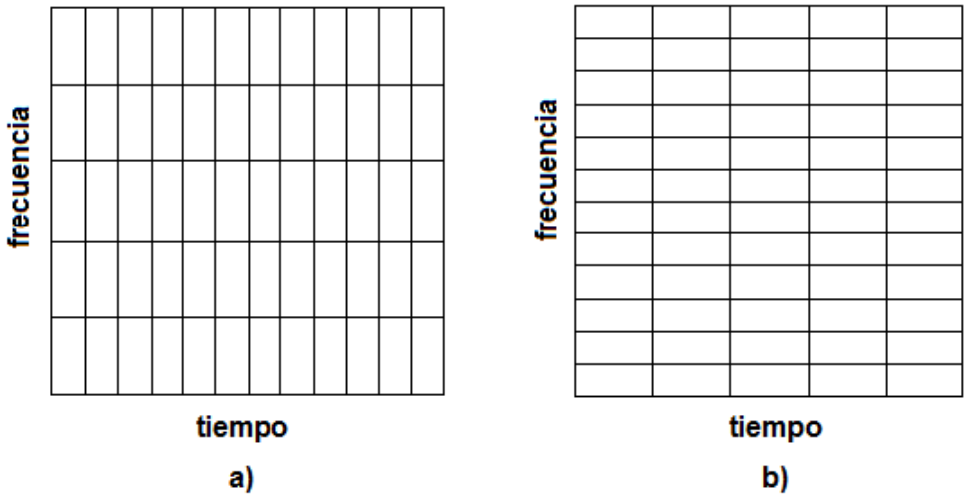


Figura 2.1) Representación de la resolución de la STFT a) banda estrecha y b) banda ancha.

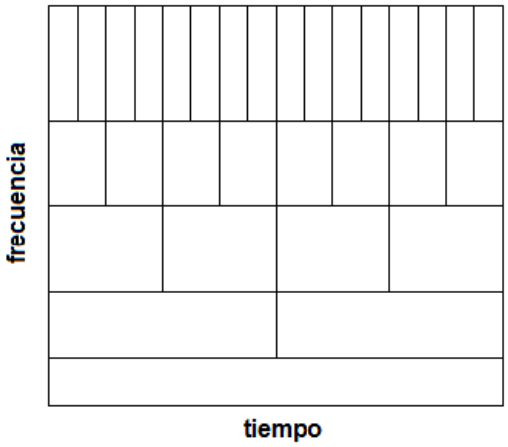


Figura 2.2) Representación de la resolución de la TW

2.3.2 Características wavelet

Una vez definido el concepto de wavelet se puede adentrar al tema con la idea general de que el conjunto de funciones base que componen a una función prototipo, también llamada wavelet madre, son sus versiones escaladas y trasladadas en tiempo. Por tanto, el análisis wavelet es básicamente un análisis temporal de dilataciones y traslaciones [CC95], su expresión de esta definición se encuentra en 2.10.

$$\psi_{m,n}(t) = 2^{-\frac{m}{2}}\psi(2^{-m}t - n) \qquad (2.7)$$

Donde $-m$ representa de manera general el factor de escala y n el de traslación.

Existen diferentes wavelets madre y su utilidad depende de la señal y de la aplicación que se desee. A continuación se tratarán algunas de las más conocidas con espera de una comprensión general a lo que se ha venido desarrollando en la Teoría Wavelet.

2.3.2 Wavelets conocidas

2.3.3.1 Haar

La wavelet Haar es la más antigua de todas las wavelets, fue propuesta por el matemático Alfred Haar en 1909 y se sabe que cualquier función continua puede ser aproximada por esta. Ha tenido diferentes aplicaciones en la reducción de ruido desde control hasta el filtrado digital, perteneciente a la familia de la wavelet Daubechies siendo el primer orden de esta familia. Otra de sus características es su simetría del filtro y una última es que tiene transformada continua y discreta a diferencia de algunos casos de wavelets [MMO96].

$$\phi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < 1 \\ 0 & en\ otro\ caso \end{cases} \tag{2.8}$$

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1 & \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0 & en\ otro\ caso \end{cases} \tag{2.9}$$

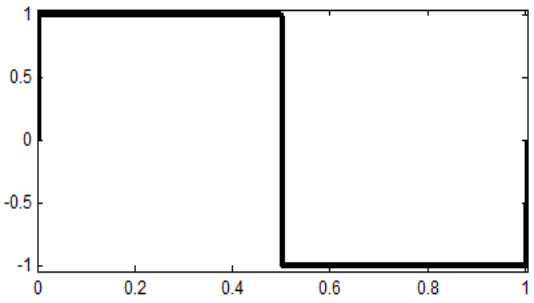


Figura 2.3a) Función wavelet Haar.

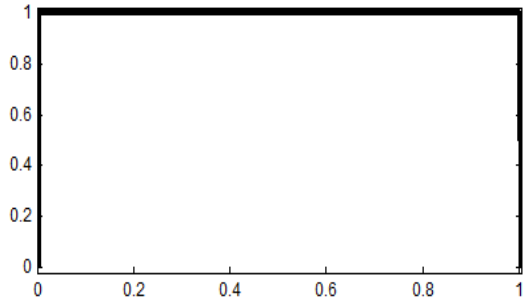


Figura 2.3b) Función scaling Haar.

2.3.3.2 Daubechies

Descubierta por Ingrid Daubechies quien propuso además de ésta, otras dos grandes familias wavelets, la diferencia entre ellas radica en la función scaling y wavelet. Es un tipo de wavelet que otorga p momentos de desvanecimientos. No es simétrica, es de soporte

compacto y es continua a diferencia de la wavelet Haar, tiene diez momentos de desvanecimiento en el programa de MATLAB, sin embargo, matemáticamente puede tener más [MMO96] y [ADD02].

Como cada momento de la wavelet Daubechies difiere en las funciones scaling y wavelet no tiene una expresión explícita, sin embargo, se puede observar en la figura 2.4a y 2.4b qué parámetros posee en amplitud y tiempo una wavelet Daubechies en el décimo momento.

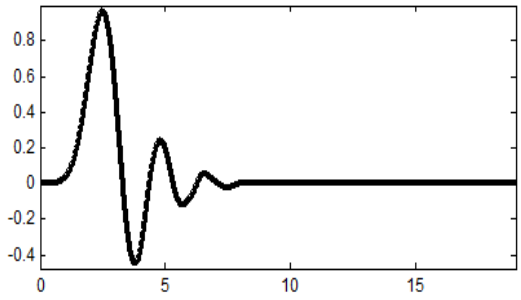


Figura 2.4a) Función wavelet Daubechies con momento número 10.

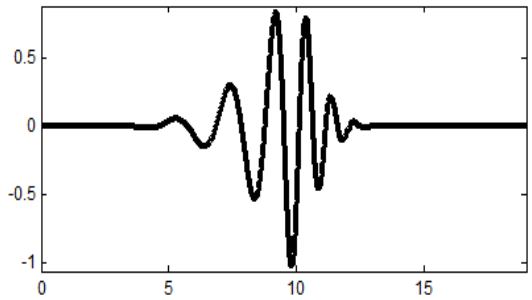


Figura 2.4b) Función scaling Daubechies con momento número 10.

2.3.3.3 Symlet

Es otra de las familias creadas por Daubechies, de hecho es la modificación de la familia wavelet Daubechies, sus funciones de scaling y wavelet son parecidas a una wavelet simétrica, sin embrago, es cercanamente simétrica, se puede trabajar con transformada continua y discreta, además de que tiene soporte compacto [MMO96], [CHU10] y [GW08].

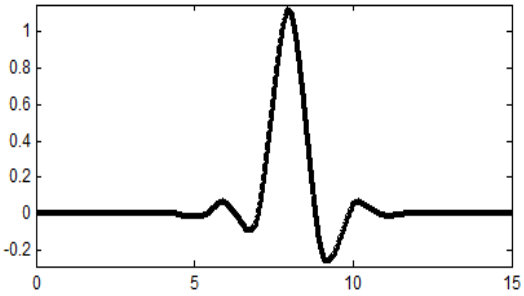


Figura 2.7a) Función wavelet Symlet con momento número 8.

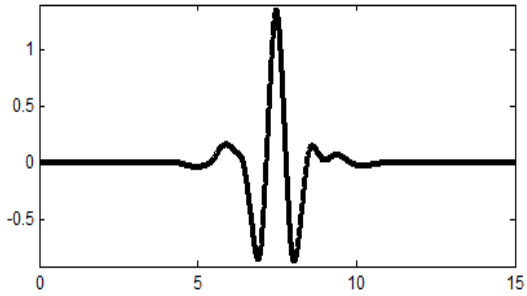


Figura 2.7b) Función scaling Symlet con momento número 8.

2.3.3.4 Coiflet

Es la última de las tres familias wavelets que construyó Daubechies, su nombre es en honor a Coiflet quien le pidió que la creara para una aplicación en el análisis numérico. Al igual que la Symlet es cercanamente simétrica y no tiene expresión explícita, cuenta con función scaling por ende el análisis puede ser ortogonal, es de soporte compacto y trabaja con transformadas continuas y discretas [MMO96] y [CHU10].

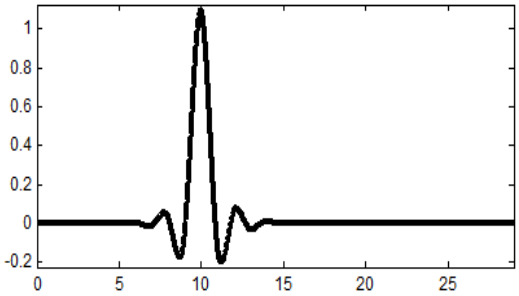


Figura 2.8a) Función wavelet Coiflet con momento número 5.

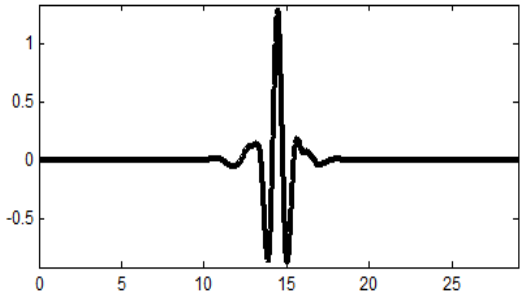


Figura 2.8b) Función scaling Coiflet con momento número 5.

2.3.3.5 *Biortogonal*

En la figura 2.9 se observa cómo tiene cierta similitud con la wavelet coifllet, entre sus propiedades se encuentra que es simétrica, tiene varios momentos de desvanecimiento como en los casos anteriores con excepción de la Haar. El Análisis es biortogonal, tiene un rápido algoritmo y es de soporte compacto.

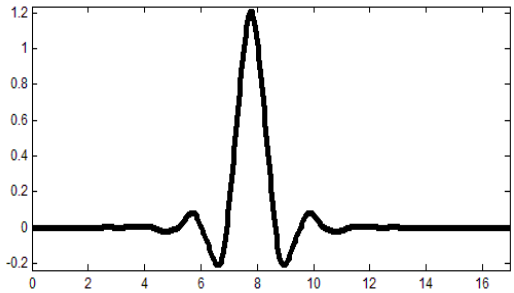


Figura 2.9a) Función wavelet Biortogonal con momento número 6.8.

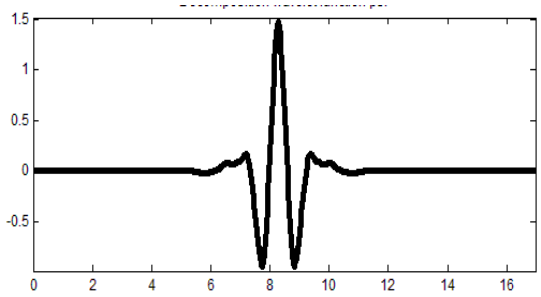


Figura 2.9b) Función scaling Biortogonal con momento número 6.8.

Capítulo III
TRANSFORMADA DISCRETA WAVELET

3.1 INTRODUCCIÓN A SEÑALES

Las señales pueden ser analizadas tanto en el dominio de la frecuencia como en el de tiempo, tomando en cuenta algunas propiedades como lo son el ancho de banda, el contenido en frecuencia de la señal o armónicas de interés para el caso de la frecuencia y la media de la señal, la desviación estándar y la potencia en el dominio del tiempo [ADD02]. Para ello se requiere alguna herramienta que permita tal análisis con facilidad. La herramienta que se manejará es la Transformada Discreta Wavelet (TDW), para su mejor comprensión es necesario tener una noción de las Series de Fourier, la Transformada de Fourier y la Transformada Corta de Fourier, también tomar en cuenta conceptos básicos como las señales continuas y discretas, señales no estacionarias y las wavelets ya antes vistas, de tal manera que partiendo de estos conceptos se hará énfasis en la definición de la TDW [AYA01].

Las primeras clasificaciones de señales se encuentran divididas dependiendo de su estacionalidad. Después es necesario definir las características que atribuyen a la distinción en el manejo computacional de las señales con la propia naturaleza de estas.

3.1.1 Señales estacionarias y no estacionarias

Estas son las dos grandes divisiones que existen entre las señales, las estacionarias conceptualmente son las señales que permanecen con las mismas propiedades estadísticas durante un periodo en cada instante de tiempo. Por el contrario las no estacionarias son las señales que varían en sus propiedades respecto al tiempo, como lo son la amplitud y la desviación estándar.

3.1.2 Señal Discreta

En el caso de las señales discretas la variable independiente toma valores n tal que estos pertenezcan al conjunto de los números enteros. La importancia de este tipo de señales es tal que una señal discreta puede representar las muestras de una señal cuya naturaleza sea continua. En este caso la variable independiente es encerrada en corchetes [OW83].

3.2 TRANSFORMADAS DE SEÑALES

3.2.1 Series de Fourier

Las Series de Fourier son una representación de las componentes senoidales y cosenoidales en el dominio de la frecuencia para señales periódicas. Entonces se dice que para cualquier señal periódica $f(t) = f(t+T)$ donde T es el periodo de la señal, se puede representar mediante una serie trigonométrica de la siguiente forma:

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 cos\omega_0 t + a_2 cos2\omega_0 t + \cdots + b_1 sen\omega_0 t + b_2 sen2\omega_0 t + \cdots$$

$$= \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n cosn\omega_0 t + b_n senn\omega_0 t) \quad ; \quad n = \{1,2,3,\ldots\infty\} \tag{3.3}$$

Donde $\omega_0 = 2\pi/T$ y representa la frecuencia angular fundamental

El término $\frac{1}{2}a_0$ representa la componente de corriente directa promedio de la función y cada enésima armónica de la función es representada por $\omega_n = n\omega_0$.

Además los coeficientes $a_n \; y \; b_n$ se obtienen de la siguiente forma

$$a_0 = \frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt \tag{3.4}$$

$$a_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)cosn\omega_0 t dt \tag{3.5}$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T f(t)senn\omega_0 t dt \tag{3.6}$$

y conforman las amplitudes de las armónicas dependiendo de la enésima frecuencia angular [HSU98].

3.2.2 Transformada de Fourier

Como lo son las Series de Fourier la Transformada de Fourier (TF) es otra herramienta que permite el análisis de señales en el dominio de la frecuencia, incluso tiene la ventaja de poder analizar cualquier señal aunque ésta no sea periódica.

La Transformada de Fourier (TF) se expresa como una suma del producto de una señal por exponenciales complejas [HSU98].

$$F(\omega) = \Im[f(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t}\,dt \tag{3.7}$$

Por ende, $F(\omega)$ es una función continua y compleja de la variable ω y su interpretación se encuentra en la representación de las frecuencias contenidas en una señal. Al profundizar en la TF se encontraran propiedades como lo son la traslación y la escala para una sola frecuencia.

En la parte de digital trabajamos con la matemática discreta, entonces la Transformada Discreta de Fourier se expresa como en (3.8).

$$F[n] = \frac{1}{M}\sum_{t=0}^{M-1} f(x)e^{-j2\pi nx/M} \qquad para\ n = 0, 1, 2, \dots, M-1 \tag{3.8}$$

Siendo M el número de muestras [WEE11].

3.2.3 STFT (Short Time Fourier Transform)

A diferencia de la TF, la también conocida transformada de Gabor tiene la ventaja de poder localizar en tiempo y frecuencia a la señal, sin embargo, su proceso es por medio de funciones ventanas las cuales se adecúan a la parte de la señal que es estacionaría, de tal manera que no se puede visualizar la señal en todo el dominio del tiempo o frecuencia.

Puede interpretarse como la Transformada de Fourier de una secuencia de ventanas o como una operación de un filtro lineal y se expresa de la siguiente forma [THU01].

$$SF(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} G^*(t-\tau)\cdot f(t)\cdot \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\omega\mathrm{t}} d\tau \tag{3.9}$$

Con $G^*(t-\tau)$ como la función ventana, donde $G(t)$ es la ventana Gaussiana

$$G(t) = a\cdot e^{-bt^2} \tag{3.10}$$

El parámetro b controla el ancho de la función interpretado como el esparcimiento en el tiempo y el parámetro a es el escalar que varía la amplitud.

Dependiendo del ancho de la ventana es como se tendrá la resolución, ya sea una buena resolución en el tiempo y mala en la frecuencia (ventana estrecha) o buena resolución en frecuencia y mala en tiempo (ventana ancha). Similar a este proceso es como se desarrolla la Transformada Discreta Wavelet.

3.2.4 Transformada Discreta Wavelet

Al igual que la Transformada de Fourier la Transformada Wavelet es la descomposición de una señal en frecuencias lo que hace importante el manejo de los dominios tiempo o espacio y frecuencia.

Al procesar las señales primero son digitalizadas, y aún éstas llegan a ser señales continuas, al usar un entorno como lo es MATLAB se requiere que las señales sean discretas, dando una gran necesidad a la TDW. Existen dos funciones con las que se trabajan para definir la TDW, éstas son la función scaling y la función wavelet, funciones ortogonales que forman una base con los parámetros escala y traslación [LES06].

La función scaling se define como una función continua, tal que se representa.

$$\Phi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \Phi(2^j t - k) \tag{3.12}$$

Esta función nos ofrece la información de una aproximación a lo que es la señal, que en nuestro caso sería una imagen, la energía de la función escalamiento se concentra en las frecuencias bajas [AYA01].

Y la función wavelet la podemos expresar

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \tag{3.13}$$

En este caso la función describe los detalles de la imagen y la mayor parte de la energía se encuentra en las frecuencias altas [AYA01].

En estas funciones el parámetro j es la escala y k es la traslación. Se observa que la base que se construya con estas dos funciones dependerán del control de los parámetros j y k.

Como se vio en algebra lineal, se puede descomponer una señal en la combinación lineal de la base de una función $f(t)$. De tal manera que tenemos nuestra función con cada coeficiente a_k.

$$f(t) = \sum_k a_k \psi_{j,k}(t) \tag{3.14}$$

Luego para la obtención de los coeficientes se realiza el producto punto.

$$f(t) = \sum_{j,k} < f, \psi_{j,k} > \psi_{j,k}(t) \tag{3.15}$$

Para señales que cuentan con ambas funciones (wavelet y scaling), al aplicar la TDW se expresan en (3.16) [CHU10] y [GW08].

$$f[n] = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_k W_\phi [j_0, k] \phi_{j_0,k}[n] + \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k W_\psi [j, k] \psi_{j,k}[n] \tag{3.16}$$

Donde $f[n], \phi_{j_0,k}[n]$ y $\psi_{j,k}[n]$ son funciones discretas y $W_\phi[j_0, k], W_\psi[j, k]$ son los coeficientes del filtro a implementar. Sus coeficientes wavelet los obtenemos con el producto punto de la función wavelet por la función de interés que modela la señal [CHU10].

Coeficientes de aproximación.

$$W_\phi = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_n f[n]\, \phi_{j_0,k}[n] \tag{3.17}$$

Con $f[n]$ siendo la función a modelar, $\phi_{j_0,k}[n]$ la función scaling y M el número de pasos discretos.

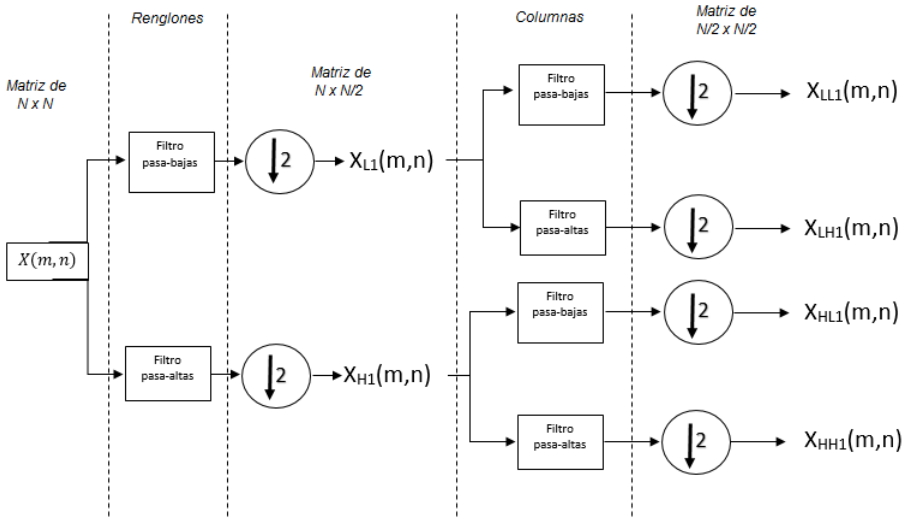
Coeficientes de dilatación o también llamados de detalle.

$$W_\psi = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_n f\,[n] \psi_{j,k}[n] \tag{3.18}$$

Con $f[n]$ siendo la función a modelar, $\psi_{j,k}[n]$ la función wavelet y M el número de pasos discretos.

3.3 TRANSFORMADA WAVELET EN IMÁGENES

La transformada wavelet de dos dimensiones de una imagen muestreada y discreta es igual que en 1D. Como veremos al descomponer la imagen la resolución se reduce con un factor de dos y la escala se aumenta el doble. Tenemos por la dimensión de cada pixel cuatro sub-imágenes correspondientes a las bandas de frecuencias dependiendo de los filtros; baja-baja (LL), baja-alta (LH), alta-baja (HL) y alta-alta (HH), por renglón y columna. Para una descripción más familiar se ilustra en 3.1 el procesamiento en 2D como se había venido manejando de acuerdo a la descomposición en el análisis de la señal [THU02].



Esquema 3.1) Diagrama de descomposición de la primera resolución de una imagen

Se observa cómo la descomposición al tener una imagen cuadrada de NxN renglones y columnas se le aplica la Transformada Discreta Wavelet en 1D a cada uno de los renglones generando una imagen que se dividirá en un filtro de bajas frecuencias y uno de altas frecuencias, de esta manera se tendrá una matriz de salida con dimensión NxN/2 para cada filtro. La matriz resultante a su vez se le aplicará la TDW para las columnas con filtros correspondientes en su ancho de banda, pasa-bajas y pasa-altas. Se obtendrá en la primera resolución cuatro sub-imágenes de N/2xN/2 [CAM03].

En este caso las funciones scaling y wavelet serán de dos variables teniendo de la misma forma variación en dos desplazamientos, uno para cada variable y un solo escalamiento.

La forma en que se podrá ver la distribución de la energía en más de una parte de la imagen será por medio de descomposiciones horizontal, vertical y diagonal [CHU10].

$$\phi_{j,m,n}(x,y) = 2^{\frac{j}{2}}\,\phi(2^j x - m, 2^j y - n) \tag{3.19}$$

$$\psi^i{}_{j,m,n}(x,y) = 2^{\frac{j}{2}}\,\psi^i\left(2^j x - m, 2^j y - n\right) \qquad i = \{H,V,D\} \tag{3.20}$$

Y su transformación se expresa en de la siguiente manera.

$$f[x,y] = \frac{1}{\sqrt{MN}}\sum_m\sum_n W_\phi\,[j_0,m,n]\phi_{j_0,m,n}[x,y] + \frac{1}{\sqrt{MN}}\sum_{i=H,V,D}\sum_{j=j_0}^{\infty}\sum_m\sum_n W_\psi\,[j,m,n]\psi^i{}_{j,m,n}[x,y] \tag{3.21}$$

Como se había mencionado la función scaling es la que contiene la mayor parte de la energía de la señal, en este caso es la aproximación de la imagen, las otras tres funciones representativas de cada cuadrante dado el esquema 3.2 toman el papel de las frecuencias altas donde se encuentran los detalles, luego entonces, las funciones wavelet son la representación de los detalles [THU01]. Siendo separables las dos funciones de interés, se expresan de la siguiente forma.

$$\phi(x,y) = \phi(x)\phi(y) \tag{3.22}$$

$$\psi^H(x,y) = \psi(x)\phi(y) \tag{3.23}$$

$$\psi^V(x,y) = \phi(x)\psi(y) \tag{3.24}$$

$$\psi^D(x,y) = \psi(x)\psi(y) \tag{3.25}$$

LL_1 $\Phi(x,y)$	HL_1 $\psi^H(x,y)$
LH_1 $\psi^V(x,y)$	HH_1 $\psi^D(x,y)$

Esquema 3.2) Descomposición de la primera resolución en sub-imágenes

Capítulo IV SISTEMA DTH

4.1 INTRODUCCIÓN A DTH

La constante innovación en la tecnología es lo que ha conformado los servicios característicos de calidad en los sistemas que utilizamos hoy en día, es de esperarse que el desarrollo tecnológico en las telecomunicaciones sea a un nivel masivo, lo que implica una gran cobertura en la población. El sistema DTH (Direct-to-Home) no es la excepción, siendo una tecnología satelital con adquisiciones de estándares, nuevos dispositivos, protocolos y demás elementos que lleven a la construcción de su arquitectura. A continuación se tratarán algunas de las bases que se deben tener en claro para indagar más en el tema de televisión satelital por DTH.

4.1.1 Satélites

Un satélite es un cuerpo que actúa como reflector de las emisiones terrenas y que gira alrededor de otro cuerpo de masa preponderante, de tal manera que su movimiento es determinado por la atracción de este último. Existen dos tipos de satélites:

Satélite activo. Se caracteriza por llevar consigo equipo que depende de funciones programadas además de recibir y retransmitir señales o simplemente transmitir.

Satélite pasivo. Se caracteriza por sólo reflejar señales de radiocomunicaciones.

La era satelital comenzó el 4 de Octubre de 1957 con el primer satélite puesto en órbita por la, en ese entonces, Unión Soviética y fue conocido como “Sputnik 1”, posteriormente en 1964 se establece un sistema global de comunicaciones satelitales llamado INTELSAT (International Telecomunication Satelite Corporation) en el que se encontraban gran número de naciones y que fue hasta 1967 cuando México se integró a este consorcio. El 6 de Abril de 1965 se puso en órbita el primer satélite comercial llamado “Early Bird” con su traducción de “El Pájaro Madrugador”. Fue en 1975 que comenzaron las distribuciones vía satélite con el servicio HBO (Home Box Office) en Estados Unidos, México inicia su operación satelital en 1981 con el uso de la estación terrena Tulancingo 3 y el siguiente año comienza a insinuarse que podría hacerse difusión directa satelital a antenas parabólicas domésticas [CDE97], [ESC00] y [YAC98].

El desarrollo ha sido constante por ello se busca los temas fundamentales la parte satelital, un importante punto a tratar es la clasificación de las órbitas satelitales pues dependiendo el servicio o la funcionalidad del satélite es como se pondrán en órbita. Entonces, la

clasificación de las órbitas se divide en la distancia a la que se encuentra alejada de la tierra, su inclinación y su forma. Su inclinación puede ser de tres tipos diferentes; órbita polar, órbita ecuatorial y órbita inclinada [ELB07]. La forma simplemente se divide en elíptica o circular, en la figura 4.1 se muestran estas dos clasificaciones ilustradas.

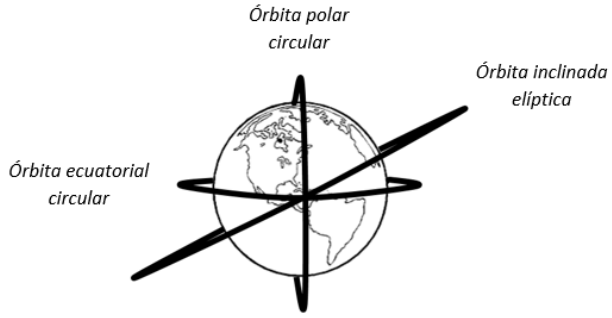


Figura 4.1) clasificación de órbitas respecto a su forma y su inclinación

Dentro de la clasificación de la distancia respecto a la tierra las órbitas tiene dos categorías, geoestacionarias y no-geoestacionarias, dividiendo estas últimas en bajas, medias y muy elípticas.

Órbitas bajas. Con sus siglas en inglés LEO (Low Earth Orbit), se caracterizan por ser las órbitas más próximas a la tierra con una altitud entre 500 y 1500 Km. Los satélites que se encuentran en este tipo de orbitas generalmente son utilizados para sistemas de comunicaciones móviles.

Órbitas medias. Con sus siglas en inglés MEO (Medium Earth Orbit), como su nombre lo indica se encuentran en una zona media y tiene sus límites de altitud entre 6000 y 11000 Km. Estas órbitas también son empleadas para sistemas de comunicaciones móviles.

Órbitas elípticas. Con sus siglas en inglés HEO (Highly Elliptical Orbit) Se caracterizan por cubrir zonas polares donde los satélites en órbitas geoestacionarias no pueden dar servicio, con un perigeo situado a 500[km] y un apogeo a 50000[km].

Órbitas geoestacionarias. Con sus siglas en inglés GEO (Geoestationary Earth Orbit), se caracterizan por ser prácticamente inmóviles con respecto al movimiento de la tierra. Su altitud es de 35 787 Km en adelante. Se emplea para comunicaciones masivas.

Así como la importancia de las órbitas, hay algunos conceptos que se tratarán para entender el funcionamiento del sistema DTH y de los propios sistemas satelitales, tal como la PIRE, estación terrena, huella, transpondedor, enlace up-link y down-link (ascendente y descendente respectivamente) y LNB (Low Noise Block) [MM07] y [AVY15].

4.1.1.1 Terrena Estación

Estación que se encuentra en la superficie de la tierra cuyo objetivo es establecer comunicación con una o varias estaciones espaciales situadas en un satélite u objeto en el espacio, o con otras estaciones terrenas por medio de satélites reflectores. También puede establecer un enlace con alguna red terrestre de telecomunicaciones.

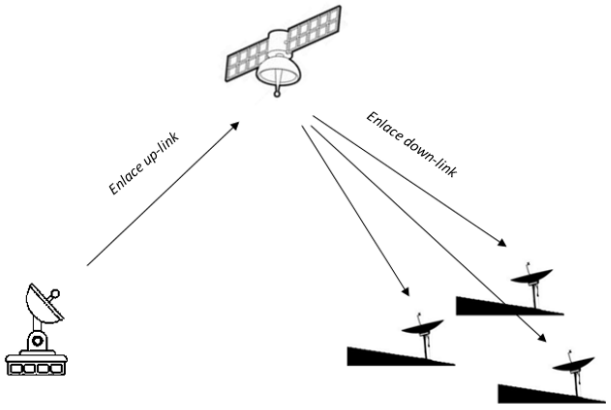
4.1.1.2 Enlace Ascendente

Este enlace se define como el envío de portadoras moduladas del centro de transmisión al satélite; siendo el satélite nuestro punto de referencia, para fines del escrito se puede decir que el enlace de la señal que llega al satélite es el enlace de recepción.

4.1.1.3 Enlace Descendente

A este enlace se le llamará enlace de transmisión, consiste en que una vez que la señal llega al satélite esta es retransmitida a los diferentes tipos de recepción en tierra.

En el sistema DTH será directamente transmitida a las antenas de las casas y se observa en el esquema 4.1 cómo se distribuyen las señales mediante los dos enlaces



Esquema 4.1) Enlace ascendente y descendente.

4.1.1.4 PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)

Se expresa linealmente como el producto de la potencia que alimenta a la antena transmisora del satélite por la ganancia de ésta referida a una antena isotrópica y en decibeles es la suma de la potencia más la ganancia de los elementos antes mencionados.

$$PIRE(dBW) = P_{ent}(dBW) + G_T(dB_i) \tag{4.1}$$

Con P_{ent} como la potencia de entrada y G_T la ganancia del transmisor.

La clasificación de los satélites que ofrecen el servicio de televisión se caracteriza por la PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) y se dividen en 3 categorías: satélites de potencia alta, potencia media y potencia baja. Sin embargo los satélites más utilizados en servicios DTH son de potencia alta y media, debido a que en satélites de potencia baja existe mayor interferencia causada por otros servicios.

4.1.1.5 Transpondedor

Una abreviación de transmite-responde, también llamado repetidor, es el canal repetidor de un satélite geoestacionario cuya función es retransmitir las señales recibidas de la estación de subida hacia una parte del globo terráqueo, sólo procesa portadoras de señales que estén moduladas.

4.1.1.6 LNB (Low Noise Block)

Este bloque prácticamente es un preamplificador de la antena, sus dos funcionalidades se encuentran divididas en otros dos bloques; el convertidor de bajo ruido LNC (Low Noise Converter) y el amplificador de bajo ruido LNA (Low Noise Amplifier). Entonces las dos principales funciones son amplificar con una ganancia alta y nivel de ruido bajo las señales recibidas por el satélite geoestacionario y convertir las señales de microondas recibidas en la banda Ku (11/12GHz) a una FI (Frecuencia Intermedia) que se encuentra en el rango de 950 a 2150MHz o 950 a 1450MHz y posteriormente ser enviadas al IRD por cable coaxial RG6.

4.1.1.7 Huella

La huella o también llamada footprint, es un área específica de la tierra que representará gráficamente el lóbulo principal de la antena transmisora del satélite en término de PIRE. Una curva cerrada y superpuesta sobre cierta zona de cobertura es abarcada por todos los puntos de la superficie terrestre a los que se transmite el valor de la PIRE.

El desarrollo de la televisión satelital abarca un amplio campo de estudio en diferentes áreas, los conceptos anteriormente definidos permitirán la comprensión de cómo es que se lleva acabo todo el proceso de Direct to Home [ELB97].

Las bandas de frecuencias que son más empleadas para comunicaciones satelitales son:

- Banda L (1.5GHz a 2.9GHz)
- Banda C (3.7GHz a 4.2GHz y 5.9GHz a 6.4GHz)
- Banda Ku (12GHz a 18GHz)
- Banda Ka (25.5GHz a 40GHz)

De ellas, la primera banda que se utilizó para comunicación satelital fue la banda C. En la primera introducción a la televisión, la banda C fue pensada para alimentar a los sistemas por cable y con el desarrollo de nuevas tecnologías los usuarios adquirieron equipos de bajo costo para la recepción directa. Sin embargo, el servicio tuvo un auge en la banda Ku con la televisión digital a mediados de 1994 con importantes ventajas como la potencia que se utiliza y la poca interferencia que se tiene debido a que no hay varios servicios como en la banda C, además de todas las ventajas obtenidas de los sistemas digitales, siendo así, es la banda más empleada para el sistema DTH [CDE97].

Los primeros satélites para la televisión fueron destinados para las redes de televisión por cable y transmitían eventos internacionales, fue después cuando se creó un sistema de codificación para evitar la recepción por radioaficionados, cuyo servicio lo obtenían sin pagar [CDE97]. La radiodifusión requiere gran ancho de banda y mucha potencia es por ello que se espera un alto costo, sin embargo, para que sea rentable el servicio debe ser atractivo a comparación de otras formas de distribución de televisión.

Entonces debido a la necesidad de que los usuarios obtuvieran mayor número de programas, con buena calidad y a bajo costo se implementó la televisión vía satélite. A comparación de la televisión por cable, la distribución satelital supera los inconvenientes geográficos que se puedan presentar en zonas con obstáculos naturales o artificiales, aprovechando la propagación de la señal por línea de vista, entendiendo que es la trayectoria de la señal con mayor velocidad y cantidad de energía.

4.2 ASPECTOS IMPORTANTES DE DTH

Direct-to-Home también llamado DBS (Direct Broadcast Satellite) [ELB97] es prácticamente la extensión de la televisión vía satélite, fue diseñado por una empresa satelital llamada HUGHES en 1986, sin embargo estas transmisiones eran analógicas en FM y fue hasta la primera mitad de la década de los 90 cuando empieza un creciente desarrollo tecnológico y comercial con el inicio del sistema DTH digital [MM07].

La diferencia existente entre el servicio que ofrece DTH con respecto a otros operadores de telecomunicaciones es el objetivo de un mercado masivo a usuarios que se encuentren abonados por medio de una estructura funcional llamada plataforma. Dado que las comunicaciones satelitales se llevan a cabo en las órbitas GEO, cuentan con una plataforma efectiva para redistribuir ondas de radio en la tierra y aunado a ello un gran espectro [MM07].

Debido al espaciamiento de las posiciones orbitales que tiene con respecto a otros difusores en la misma frecuencia, se permite una potencia alta y sin interferencias, ofreciendo una buena calidad en las terminales de recepción. Probablemente es el sistema más sencillo de todas las aplicaciones con satélites [AVY15].

Una primera aproximación de la definición del sistema DTH (Direct-to-Home) es la de un sistema de radiodifusión destinado a la distribución de señales y datos cuya señal de difusión es enviada de una estación terrena hacia un satélite geoestacionario para después ser amplificada y se distribuya directamente a cada usuario. Este sistema es simultáneo y lleva consigo una serie de técnicas, estándares y tecnologías que hacen partícipe de la mejora en la recurrente innovación de los servicios satelitales y de televisión [MM07]. Los dos factores fundamentales en la creación del sistema son el estándar MPEG-2 y DVB-S, siendo así se analizarán con más detalle al final del apartado.

4.2.1 Operadores satelitales

Para adentrarse al desarrollo tecnológico del sistema DTH es importante conocer los operadores de servicio en el mercado. Algunos de los más importantes son los siguientes.

SES-ASTRA es uno de los principales operadores europeos con sede en Luxemburgo. Eutelsat surge en 1977 en París, Francia. EchoStar es el segundo operador de servicios DTH en Estados Unidos, fue fundada en 1980 y comienza a operar en 1996. Hispasat es un operador de España con tres centros de control; en España, Brasil y Gran Canaria.

PanAmSat es fundada en 1984 siendo el primer operador privado en brindar servicio internacional y New Skies Satellites (NSS) fue el primer operador de servicios de televisión digital y datos [MM07]. Con la variedad de operadores satelitales y las difusoras de contenido se requieren de aspectos para subsistir en el mercado de difusión vía satélite.

Algunas de las principales características que debe tener un sistema DTH son la variedad de opciones en cuanto a programación, desde el número de canales hasta los idiomas en el que se puede visualizar la programación, el equipo de recepción en cuanto al modo de instalación y la integración de otros dispositivos de calidad en audio y video. Otra de sus características es la condicionalidad a parámetros en el acceso de contenidos y la codificación que protegerá el conjunto de contenidos privados. Desarrollo de programas que cuenten con un adecuado enlace de recepción y tecnologías para el flujo de transporte. Incompatibilidad respecto a otros servicios de televisión digital, o televisión por cable que pueda llegar a utilizar el servicio dentro de un plan de negocios. Una plataforma efectiva para el cobro de pago y un precio aceptable respecto a otros tipos de distribución de TV [ELB97].

4.3 ARQUITECTURA DTH

4.3.1 Conectividad y gestión del Sistema

La topología de esta red es punto-multipunto, entendiendo que hay un solo enlace de recepción del centro de transmisión al satélite y múltiples enlaces de trasmisión simultáneos del satélite a cada recepción en los hogares. Lo que abarca este tema son las variantes que se presentan en los enlaces del centro de transmisión al satélite y del satélite a los hogares, así como el control y la supervisión en la operación de todo el proceso.

4.3.1.1 Enlace de Recepción

El enlace de recepción cuenta con variantes similares a las que tiene el enlace de transmisión en cuanto al medio de propagación de la señal. Sin embargo, como se había mencionado se hablará de las variantes como lo son el flujo de transporte y la adaptación del flujo de transporte al canal de transmisión del satélite, siendo únicas de la señal que se envía al satélite.

El contenido presentado en la televisión pasa por una serie de procesos para llegar al destino, del centro de transmisión al satélite tiene que tener un formato que evite pérdida de información o interferencias, los procesos básicos para trabajar de una manera más sencilla las señales de imágenes, audio o datos, son la digitalización y la compresión. El flujo digital de programas en señales banda base con los procesos mencionados es conocido como flujo de transporte y se crean varios para todos los programas que se deseen enviar [MM07].

Lo siguiente que se implementa para el envío de las señales en banda base (flujo de transporte) es la adaptación de éste, adquiriendo características del estándar DVB-S (Digital Video Broadcasting-Satellite) para la protección de las señales, algunos de sus procesos son la codificación de canal, la conformación de los pulsos y la modulación digital [BEN09].

4.3.1.2 Enlace de transmisión

El enlace de transmisión es simultáneo y es dirigido a cada recepción en los hogares, los temas a tratar son referidos al medio de propagación, sabiendo que existen diferentes causas de la interferencia y el ruido, en el caso de sistemas HDTV, ruido cuadriculado. Algunas de las distinciones del enlace de transmisión son el ancho de banda y la potencia que se utiliza. Para toda la programación que llega a los hogares se requiere un gran ancho de banda por ello el sistema DTH se efectúa en la banda Ku asignada al servicio fijo por satélite o FSS (Fixed Satellite Service) y al servicio de difusión por satélite o BSS (Broadcast Service Satellite) [MM07]. La banda se divide en banda alta y banda baja mejor conocidas como banda de 11GHz y de 12GHz respectivamente, es por ello que la banda Ku también se conoce como banda 11/12GHz. Brevemente se describirán los dos tipos de servicio [ELB97]:

FSS (Fixed Satellite Service). Este servicio prácticamente se da entre estaciones terrenas y es para localizar posiciones cuando uno o más satélites son utilizados; las posiciones dadas deben de ser puntos fijos específicos o puntos fijos dentro de áreas específicas. Algunas veces incluye enlaces entre satélites y enlaces de conexión con otros servicios.

BSS (Broadcasting Satellite Service). Este servicio es enfocado a la transmisión o retransmisión de las señales en estaciones espaciales, las cuales son destinadas a recepción directa, entendiendo recepción directa como para recepciones individuales y recepciones colectivas.

La influencia de la lluvia es una de las causantes de ruido cuadriculado, al operar por encima de los 10GHz el enlace de transmisión se ve afectado por las gotas de agua y la nubosidad, reflejándose en la señal que llega al receptor. Es necesario tener en cuenta estos inconvenientes e incluirlos en el cálculo de enlace, siendo óptimo el incremento de potencia. Otro inconveniente natural es el significativo incremento de ruido captado por la antena debido a la coincidencia del satélite y el Sol en la misma orientación al sitio de recepción.

4.3.1.3 Gestión

Esta parte es la administración de los satélites y las señales de programación, se conoce como operador de red de distribución con elementos principales como el centro de transmisión y la gestión de la flota satelital por TT&C (Telemetry Tracking and Command), donde TT&C son las estaciones terrenas que supervisan y controlan las operaciones de los satélites, verifica que en el enlace de recepción no exista interferencia, provee la conexión entre el satélite y las instalaciones terrenas limitando la comunicación requerida entre el operador de red DTH y el operador del satélite. Este subsistema deben tenerlo incluido todos los satélites independientemente de las aplicaciones y tecnologías que contengan. Además un centro de control general para la gestión de la potencia y el ancho de banda a bordo del satélite [ELB97].

Existen tres específicos segmentos que deben trabajar juntos para proveer ampliamente la comunicación, siendo el segmento espacial, el segmento de comando y el segmento de usuario. El segmento de comando es donde se encuentran implícitas las estaciones TT&C Sus tres principales tareas que desarrolla y que deben ser realizadas tanto en el satélite como en la carga útil a bordo de este son la telemetría, el rastreo y el control.

Telemetría. Es la recopilación y transmisión de información sobre el estado de los datos, los subsistemas del satélite y el propio satélite al segmento de comando sobre la tierra. No solamente se requiere una telemetría para estaciones espaciales, también es requerida la telemetría en estaciones terrenas en todo el mundo, con datos útiles de redes satelitales.

Rastreo. La localización y seguimiento de satélites permite al segmento de comando conocer dónde se encuentran y hacia dónde se dirigen. De igual manera requieren de un sistema en estaciones espaciales y terrenas para el uso eficiente de la tarea.

Control. La recepción y el procesamiento de comandos permiten una continua operación del satélite para proveer el servicio de interés.

El centro de transmisión es en el que se lleva a cabo el enlace de recepción y es el punto donde se reúnen los contenidos de diferentes fuentes de televisión, una vez que los ha procesado agrega comentarios y comerciales para reenviarlos a satélites geoestacionarios. Cumple con tres funciones; modulación digital de las señales, la conversión de frecuencia de la portadora modulada y la amplificación de potencia adecuada para el satélite.

4.3.2 Satélites Geoestacionarios

Esta parte es fundamental en la operación del sistema, se necesita alrededor de dos o tres años para su construcción y puesta en órbita, una vez puesto en órbita las fuerzas de atracción gravitatoria y la repulsión centrífuga equilibran el movimiento del satélite. Dependiendo de las características del satélite es como se verán modificadas las instalaciones de recepción y la calidad de la señal recibida, entendiendo que se adecúa el tamaño de la antena de recepción a la potencia de transmisión del satélite. La puesta en órbita del satélite geoestacionario debe tener una trayectoria circular concéntrica respecto al centro de la tierra y debe estar contenida en el plano ecuatorial terrestre, de esta manera los satélites parecerán puntos fijos para la zona de cobertura en la superficie terrestre. El grupo de estaciones terrenas TT&C es lo que determina su vida útil que normalmente es entre 12 y 15 años [MB02].

Los satélites geoestacionarios constan de algunos subsistemas que conforman su funcionalidad en el espacio, también cuenta con importantes tecnologías como lo es el transpondedor, celdas solares, sistemas de enfriamiento, entre otros. El cuerpo del satélite es la estructura que permite la sustentabilidad del mismo satélite en las condiciones del espacio exterior, de tal manera que los circuitos lógicos deben soportar movimientos bruscos, el subsistema de energía eléctrica es el que provee a los otros subsistemas de energía para sus rendimientos, está conformado por celdas solares de alta eficiencia localizadas en el cuerpo del satélite además de baterías de Níquel-Cadmio reemplazando a las celdas solares en los eclipses. El subsistema de estabilización tiene como objetivo mantener el satélite en la correcta posición orbital además de que estabiliza al satélite en

la dirección correcta para que la huella tenga la cobertura deseada, debido a los cambios bruscos de temperatura por la iluminación del sol o la sombra en la parte opuesta es necesario un subsistema de control de temperatura que mantenga en equilibrio térmico los componentes del satélite respecto al espacio exterior [MM07].

Algunos de los inconvenientes que se encuentran en los satélites geoestacionarios son la influencia de fuerzas externas que afecten la posición orbital y desvíen los satélites de la zona de cobertura [MM07], por ejemplo, el campo gravitatorio de la tierra y la influencia de cuerpos celestes cercanos, otro inconveniente es el eclipse causado por el movimiento relativo del sol, la tierra y el satélite, interrumpiendo el suministro de energía solar, recurriendo a otro tipo de alimentación que deteriore la vida útil del satélite y un último percance es que los sistemas geoestacionarios no pueden cubrir zonas con latitudes mayores a 81.3° norte o sur. Sin embargo, existen soluciones para cada uno de estos inconvenientes; el grupo de estaciones terrenas TT&C se encargan del monitoreo para evitar desviaciones de los satélites, para evitar el desgaste de baterías por eclipses se desplaza hacia el oeste de la zona orbital de cobertura, evitando la coincidencia del horario máximo de teleaudiencia y para los polos norte y sur de la tierra donde no pueden cubrir zonas de cobertura una opción sería el uso de satélites en órbitas HEO [ELB97].

Entonces los satélites utilizados en los sistemas DTH tienen como misión la retransmisión de las portadoras moduladas hacia los abonados de la plataforma en la zona de cobertura correspondiente, buscando la simplificación en el diseño y operación de las terminales terrenas y la reducción del costo de implementación.

4.3.3 Instalación de Recepción

Esta parte del sistema DTH es, grosso modo, el conjunto de dispositivos y medidas para la mejor recepción [MM07], [BEN09] y [AVY15].

4.3.3.1 Antena Parabólica.

Es una característica del sistema de televisión satelital, consta de una superficie reflectora o plato y el LNB, compuesta de metal, malla y un recubrimiento de poliéster, dependiendo de la instalación del equipo de recepción es como se verá el desempeño de la antena. En sistemas DTH son más empleadas dos tipos de antenas, la simétrica y la antisimétrica también llamada offset, predominando esta última en las instalaciones de recepción. Algunos parámetros técnicos a considerar son la ganancia máxima, el ángulo de abertura y la orientación de la antena, definiendo la orientación en ángulos de elevación y acimut.

4.3.3.2 Importancia del LNB

El LNB se encuentra a una cierta distancia del vértice de la parábola del plato y la función de la superficie parabólica es concentrar las señales en el dispositivo, para evitar lo menor posible un incremento de radiación causada por la dispersión en el dispositivo se requiere de su correcta instalación. Una característica mediante el desarrollo DBS es el preferente uso de LNB de instalaciones digitales, con el cambio de transmisiones analógicas a digitales, los receptores de analógicos son malos para la respuesta en fase digital.

4.3.3.3 Cable Coaxial

El cable coaxial es un elemento importante para la instalación de recepción del sistema DTH es por esto que se deben tomar ciertas medidas respecto a la cantidad de cable coaxial y su adecuada distribución, consta de un conductor interno, un dieléctrico, un conductor exterior conformado por una lámina y una malla y en la parte exterior una cubierta, el coaxial utilizado es el RG6 y su impedancia es de 75 [ohm], los materiales deben de ser de calidad para no degradar la señal que se envía al decodificador.

4.3.3.4 IRD (Integrated Receiver and Decoder)

Con su traducción receptor-decodificador integrado existen tres tipos, el IRD estándar para la recepción de señales con estándar NTSC/PAL, el IRD con DVR o también llamado PVR (Personal Video Recorder), cuenta con las mismas características del IRD estándar además de tiene incluido un disco duro que actúa como grabador de video digital y el HD-IRD diseñado para recepción de señales con estándar HDTV *aunque* también puede recibir señales con estándar SDTV. Cada plataforma tiene su IRD y no puede ser usado para los servicios de otra plataforma, como su nombre lo indica se compone de un receptor y un decodificador, tomando en cuenta su software y hardware para su mejor funcionalidad.

4.3.4 Estándares del sistema DTH

4.3.4.1 DVB-S (Digital Video Broadcasting - Satellite)

Al principio DVB fue un proyecto enfocado a la televisión digital, creado por expertos europeos en 1993 hasta que el ETSI (European Telecomunication Standards Institute) lo aprobó como norma europea y se derivaron tres principales estándares para tres importantes redes de distribución; para sistemas por satélite DVB-S, para redes de cable DVB-C y para medios terrestres DVB-T.

El estándar DVB-S es una arquitectura que se basa en capas, donde el estándar MPEG-2 se encuentra en la capa más alta codificando el contenido y enviándolo a través de un flujo

de datos. Mientras se avance en las capas se agregarán más bits de soporte y de redundancia esperando la menor cantidad de errores en la señal. Características importantes son que el sistema utiliza la modulación QPSK, utiliza Multiplexación por División de Tiempo en sólo una portadora digital a una tasa de bits constante y las tasas de transmisión como los anchos de banda pueden ajustarse incluso durante el funcionamiento a los transpondedores de los satélites [ELB97].

4.3.4.2 MPEG-2 (Motion Picture Expert Group - 2)

Los tipos de secuencia de video en NTSC, PAL y SECAM contienen un alto grado de redundancia, lo que provoca mayores dificultades en cuanto a la transmisión de la señal, la técnica utilizada para reducir la información redundante entre una secuencia de tramas es llamada compensación de movimiento, es un proceso intensivo de computación, por tanto sólo se utilizó para sistemas comerciales, después se desarrolló el estándar MPEG ya que cada vez más sistemas requerían de compresión y compensación de movimiento [MM07] y [ELB97].

Su principal aplicación es en difusión de televisión y lo hace mediante técnicas que utilizan el ancho de banda y la redundancia. Es un estándar para la codificación las imágenes de un video con su respectivo audio y datos que complementen la presentación de los programas, importante para los sistemas actuales de TV digital vía satélite, proporciona seguridad en el movimiento de imágenes y un punto clave es que aunque exista un retraso debido al análisis de varias tramas de información antes de ser transmitidas, la compresión se efectúa en tiempo real a múltiples lugares, un flujo de datos MPEG-2 describe las acciones que debe tomar el decodificador del servicio DTH para la reconstrucción del video en su secuencia original [WAL04].

4.3.4.3 MPEG-4

Algunos de sus objetivos se concentran en poder utilizar varios tipos de servicios multimedia e integrar el contenido de varios medios en un solo marco de trabajo, anteriormente ya se codificaba contenido para diferentes servicios pero no existía una estructura que integrara todas las tecnologías para su manipulación. Cubre un gran rango de aplicaciones de comunicación visual y soporta herramientas de codificación visual. El estándar se caracteriza por el uso de “objetos” los cuales tiene diferentes tipos de atributos o contenidos usados para crear una interacción entre medios. Son descritos por perfiles generales que hacen una convergencia entre diferentes medios [WAL04].

4.3.4.4 HEVC (High Efficiency Video Coding)

Estándar creado por la creciente necesidad de compresión en imágenes en movimiento en diferentes aplicaciones como lo es el flujo de internet, videocámaras, cine digital, medios de almacenamiento, producción de contenidos y difusión, siendo éste último el tema de interés. Este estándar es una versión mejorada de lo que es H.624/AVC cuya característica principal fue la escalabilidad. Se concentra en la reducción de la tasa de bits, con una tasa de aproximadamente la mitad en comparación con otros codificadores gracias a su soporte de procesamiento en paralelo y sin repercutir en la calidad, con ello se incrementa la resolución del video [DAV14].

4.3.4.5 RCA

Se introdujo en 1940 por la empresa Radio Corporation of America, de ahí se le atribuye el nombre con sus siglas RCA, tiene el propósito de conectar dispositivos audiovisuales a través de un cable de dos hilos cuyo método de transmisión puede ser tanto analógico como digital.

4.3.4.6 HDMI (High Definition Multimedia Interface)

Al igual que el RCA es un estándar para el desarrollo de la interoperabilidad de dispositivos audiovisuales, sin embargo, éste estándar busca asegurar la convergencia en multimedia con calidad HD, su objetivo es la conectividad global sin compresión de sistemas digitales en electrónicos de consumo y productos de PC por un solo cable.

Capítulo V

IMÁGENES SD E IMÁGENES HD

5.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo en la transmisión y recepción de las imágenes se ha venido modificando con la creación de nuevos sistemas e innovaciones tecnológicas y su aplicación más importante se encuentra en la televisión digital. La influencia de la tecnología en los medios de comunicación es fundamental en la continua búsqueda para satisfacer las necesidades de los usuarios. El tema a describir parece ser un caso trivial, sin embargo, las imágenes SD y HD conllevan un proceso que se encuentra implícito en la televisión, dado que es el tema en el que se hará énfasis, a continuación se describirán algunos conceptos y desarrollos para su mejor comprensión.

Cabe destacar que la televisión ha adoptado diferentes formas en la presentación de los contenidos, éstos empiezan desde la televisión monocromática analógica hasta la televisión cromática digital y junto con éstas se han adquirido algunos estándares para las imágenes [MV06].

5.2 BREVE HISTORIA DE LA TELEVISIÓN

Como bien se mencionó la historia de la televisión ha tenido diferentes modificaciones, comienza en una transmisión analógica y monocromática. Su idea básica para transmitir las imágenes se encuentra en el escaneo de una placa fotosensible, en la que se encuentra almacenada la imagen, el escaneo se hace mediante un haz de electrones, cuando incide sobre la placa cede o acepta electrones para neutralizar la carga almacenada generando una corriente eléctrica que circula por una resistencia, así se genera un voltaje que es asignado a cada división de la imagen y luego es amplificado. Una vez obtenida una señal de voltaje, donde los niveles altos son el máximo brillo de la imagen o bien de un nivel blanco y los mínimos son de nivel negro [MV06], se crea un intervalo de “borrado” donde el haz de electrones no hace su barrido a los elementos de la imagen, esto se hace con el fin de no crear parpadeos. El muestreo frecuencial de cada elemento de la imagen es lo que se denomina exploración o barrido y existen dos tipos de exploración; le entrelazada y la progresiva.

5.2.1 Exploración entrelazada

En los inicios de la televisión analógica era notorio el parpadeo de las imágenes, por ello la exploración entrelazada ayudo tanto en el efecto de movimiento como en la reducción del ancho de banda, para la exploración utilizan tubos de rayos catódicos que escanea 576 líneas horizontales, la técnica consiste en dividir los cuadros de imágenes en dos campos conformados por dichas líneas (par e impar), de manera que si antes se transmitían 25 imágenes por segundo, ahora la frecuencia sería de 50 líneas por segundo.

En la actualidad la frecuencia se encuentra en 100 imágenes por segundo, se repite dos veces cada cuadro y de ésta manera aumenta la estabilidad en el brillo de la imagen.

5.2.2 Exploración progresiva

A diferencia del entrelazado, el barrido progresivo escanea la imagen todas las líneas cada 1/100 de segundo. Las imágenes captadas no se dividen en campos separados como ocurre en el barrido entrelazado. Los monitores del ordenador no necesitan el entrelazado para mostrar la imagen en la pantalla. Las coloca en una misma línea a la vez en perfecto orden.

La exploración progresiva se concentra en la radiodifusión de la televisión digital y en la mejora de servicios analógicos, dicha exploración mejoró la resolución vertical y temporal en comparación con la entrelazada

Los sistemas digitales han preferido la exploración progresiva por las ventajas vistas con respecto a la entrelazada, sin embargo, en algunos casos como en HDTV 1080i todavía se sigue utilizando la exploración entrelazada, ya que una de sus ventajas contra la progresiva es que ocupa menor ancho de banda.

Como se mencionó para la captura de una imagen se requiere de un proceso óptico, la utilización de elementos electrónicos modernos como lo es el CCD (Charge - Coupled Device) son la base para la conversión de una señal óptica a una eléctrica.

5.2.3 CCD (Charge Coupled Device)

Consiste en una superficie sólida sensible a la luz, en ella se encuentran circuitos que leen y almacenan las imágenes de manera electrónica: Se fundamenta en el concepto del efecto fotoeléctrico, regularmente el CCD está compuesto por una placa de silicio que junto con una serie de circuitos microscópicos que se encuentran debajo de la superficie conforman una red de electrodos, la agrupación de tres de estos electrodos es lo que genera el llamado

pixel. Se permite que la luz incida sobre la superficie para que los fotones se conviertan en electrones y estos se junten alrededor de los electrodos [GR98].

5.3 SISTEMAS Y ESTÁNDARES EN LA TELEVISIÓN

5.3.1 Televisión Analógica

Con el paso del tiempo la televisión ha adquirido diferentes estándares con ello se implementaron sistemas como lo son NTSC, PAL y SECAM, en su adquisición hubo modificaciones para los estándares debido a los países que los adoptaban y al cambio de televisión monocromática a cromática. A continuación se observan algunas de sus características para la interpretación en la evolución de la trasmisión de imágenes [MV06].

5.3.1.1 NTSC (National Television System Committee)

Es un sistema de codificación y transmisión de Televisión en cromático y analógico desarrollado en Estados Unidos en 1940. Se adoptó en América con excepción de Argentina y Brasil también se adoptó en Japón y en algunos otros países asiáticos. Cuenta con una frecuencia de color de 3.58MHz.

El sistema de televisión NTSC transmite cerca de 30 imágenes por segundo formadas por 486 (492) líneas horizontales visibles con periodo de 52 microsegundos y ancho de banda de aproximadamente 19230 Hz. Utiliza exploración entrelazada dividida en 60 campos por segundo, que son 30 cuadros con un total de 525 líneas horizontales y una banda útil de 4.25 MHz que se traduce en una resolución de unas 270 líneas verticales [MV06] y [PER06].

5.3.1.2 PAL (Phase Alternating Line)

El sistema PAL ‘línea de fase alternada’ es utilizado en la mayoría de los países, sobre todo es más utilizado en Europa, surgió en el año 1963, de manos del Dr. Walter Bruch. Algunas diferencias con el sistema NTSC son que la frecuencia de exploración es de 50 Hz además de que la frecuencia la frecuencia de color es de 4.433618 MHz, otra de sus características es que es un sistema entrelazado. El sistema de codificación PAL corrige algunos fallos que tenía NTSC, principalmente en cuanto a la fidelidad del color, además de tener más resolución.

El sistema PAL tiene una exploración de 25 cuadros y 50 campos con 625 líneas horizontales, líneas activas 576 y Columnas activas 720 [MV06].

5.3.1.3 SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire)

Sistema que fue utilizado en Francia, la Unión Soviética, algunos países de Europa Oriental y Asia, Irán, Egipto y algunas otras colonias. SECAM "Color secuencial con memoria" prácticamente es la primera norma europea de televisión en color. El escaneado de la pantalla del televisor es de 625 líneas y a una frecuencia de 25 tramas por segundo.

Es un estándar que permite la recepción monocromática. Dado ésta compatibilidad existen dos señales que se transmites; crominancia (C) y luminancia (Y)

Desarrollado y adaptado en Francia, tiene un costo más bajo que NTSC su frecuencia de color es de 4.25 o 4.4 MHz, algunas de sus variantes son los sistemas SECAM; B, G, D, K, K1, L 4.43, J, M. El sistema SECAM es un sistema con mejor resolución que NTSC [MV06].

5.3.2 Televisión Digital

5.3.2.1 ATSC (Advance Televition Comitee)

Este sistema ha sido adoptado en varios países entre ellos se encuentra México, Corea del Sur y Canadá. Prácticamente lo que pretende es reemplazar al sistema analógico NTSC, de manera que hace eficiente la capacidad del canal utilizando sistemas complejos de compresión con ello maximiza la calidad de la imagen en la recepción.

Permite la transmisión para satélites, para canales por tierra y para televisión por cable, así como lo hace el estándar DVB. ATSC presenta una velocidad de transferencia de datos fija de 19.4 Mbps, permitiendo múltiples formatos de imágenes y velocidades de trama en HDTV y SDTV. Otra característica del estándar es que tiene patentadas tecnologías como la codificación de audio AC-3 la modulación VSB [MV06] y [HUE16]

5.3.2.2 DVB (Digital Video Broadcasting)

Este estándar fue desarrollado y adoptado por países europeos, así como también lo han adoptado países como Australia y la India. Es un consorcio de organizaciones públicas y privadas. Se caracteriza por ser multiprograma, se basa en la compresión de datos mediante MPEG para ubicar los canales en los espacios que ya estaban asignados [PER06].

Se encuentra en tres versiones:

- DVB-S (satelital, modulación QPSK)
- DVB-T (canales terrestres, modulación COFDM)

- DVB-C (televisión por cable, modulación QAM)

Una de sus ventajas es que soporta las multitrayectorias, por tanto no tiene problemas con la dispersión en los retardos de la señal.

5.3.2.3 ISDB (Integrated Service Digital Broadcasting)

Este estándar fue desarrollado por ARIB (Association of Radio Industries and Business) y su fin se encuentra en la convergencia de servicios como lo son la televisión HD y SD, el internet, portabilidad y movilidad. Se caracteriza por ser un sistema robusto contra multitrayectorias, ruido y desvanecimientos.

En sus ventajas podemos encontrar el aprovechamiento en la codificación jerárquica de información y la utilización de sólo una frecuencia en redes de varios emisores (SFN) gracias a la modulación por OFDM [PER06] y [MV06].

5.4 IMÁGENES SD E IMÁGENES HD

5.4.1 SDTV

Este estándar es prácticamente todo el proceso analógico hasta los comienzos de la era digital. SDTV tiene menos píxeles que HDTV, produciendo una imagen que no es tan detallada como la TV de alta definición. En la actualidad SDTV hace referencia a sistemas de codificación digital y envío de señales de vídeo. Formatos como VCD, VHS, Beta o SVCD con calidades parecidas a la televisión analógica, se dice que tienen una calidad SDTV. Así como también hace referencia al envío de señales por estándares de NTSC, PAL y SECAM.

SD (Standar Definition). Estas imágenes cuentan con una calidad media, su resolución es de 720 pixeles x 576 líneas y se encuentra en relación de aspecto de 4:3 ó 16:9 [LS10].

5.4.2 HDTV

Se dice que la televisión digital y la televisión de alta definición se originaron cuando General Instrument propuso un sistema HDTV totalmente digital, en controversia, se piensa que comienza con la adopción de la norma de producción de HDTV digital, por la

Recomendación UIT-R BT.709. La versión 4 de la Recomendación BT.709 fue aprobada en mayo de 2000 por la Asamblea Mundial de Radiocomunicaciones de Estambul.

Un punto importante en la búsqueda de desarrollo digital en los hogares fue la compresión de datos, si antes de ello existían preferencias a la televisión analógica, debido al menor ancho de banda que se ocupaba en la transmisión. Ahora que existen más beneficios como éste en la transmisión digital se implementan más sistemas digitales y nuevos estándares que contribuyen a su desarrollo.

A la toma por parte de las empresas en las innovaciones de la televisión digital, tanto como en la cinematografía y el crecimiento del cambio de televisión analógica a digital, la UIT ha publicado recomendaciones para interpretación de algunos estándares, así como para la universalidad de los parámetros para Televisión de Alta Definición. Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT] (2015) afirma “Un sistema de alta definición es un sistema diseñado para observar la imagen a una distancia aproximadamente tres veces superior a su altura, de forma que el sistema sea virtualmente o casi virtualmente transparente a la calidad de la presentación que habría percibido en la escena o representación original para un observador capacitado con una agudeza visual normal” (p. 1).

En la tabla 5.1 se observan los aspectos básicos que se debe tener en la transmisión de imágenes HD debido a la recomendación UIT-R BT.709-6

Tabla 5.1

Características de exploración de imagen

Punto	**Parámetro**	**Valores del sistema**								
		60/P	**30/P**	**30/PsF**	**60/I**	**50/P**	**25/P**	**25/PsF**	**50/I**	**24/P**	**24/PsF**
5.1	Orden de exploración de las muestras en un sistema con exploración	De izquierda a derecha y de arriba abajo En los sistemas de entrelazado, la primera línea activa de la trama 1 está en la parte superior de la imagen									
5.2	Número total de líneas	1125									
5.3	Frecuencia trama/cuadro (Hz)	60; 60/1,001	30; 30/1,001	60; 60/1,001		50	25	50		24; 24/1,001	48; 48/1,001
5.4	Relación de entrelazado	1:1			2:1	1:1			2:1	1:1	

5.5	Frecuencia de imagen (Hz)	60; 60/1,001	30; 30/1,001	50	25	24; 24/1,001
5.6	Muestras por línea completa – *R*, *G*, *B*, *Y* – C_B, C_R	2 200 1 100		2 640 1 320		2 750 1 375
5.7	Anchura de banda de señal analógica nominal(1) (MHz)	60	30	60	30	
5.8	Frecuencia de muestreo – *R*, *G*, *B*, *Y* (MHz)	148,5; 148,5/1,001	74,25; 74,25/1,001	148,5	74,25	74,25; 74,25/1,001
5.9	Frecuencia de muestreo(2) – C_B, C_R (MHz)	74,25; 74,25/1,001	37,125; 37,125/1,001	74,25	37,125	37,125; 37,125/1,001

(1) La anchura de banda es para todas las componentes.

(2) La frecuencia de muestreo C_B, C_R es la mitad de la frecuencia de muestreo de luminancia.

Nota: tomada de IPR (2015).

Podemos encontrar la división para cada uno de los sistemas analógicos cromáticos, notamos que el ancho de banda se mantiene aunque la exploración de la señal sea diferente y esto es debido al escaneo de las líneas totales. En la tabla se verifica que en el sistema NTSC la transmisión es de 60 Hz, en el caso del sistema PAL es de 50 Hz y en SECAM es de 24 Hz.

HD (High Definition). La calidad de estas imágenes son altas, su resolución es de 1920 pixeles x 1080 líneas y su relación de aspecto es de 16:9. Normalmente las pantallas para este tipo de imágenes superan las 36 pulgadas y cuentan con un proceso de conversión a SD (downconverter) [LS10].

Dadas las características vistas anteriormente algunas ventajas de la HDTV respecto a la SDTV son:

- Doble resolución vertical y horizontal con respecto a la SDTV
- Con la relación de aspecto la imagen se asemeja a la de cine
- Ofrece una definición cromática superior

Para la mejor comprensión en el desarrollo del presente escrito se describieron conceptos que se adentraran con más detalle en la parte práctica del proyecto sin perder de vista los estándares en las imágenes SD y HD.

5.5 INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DIGITAL DE LA IMAGEN

Ya se ha venido tratando el entorno general del papel que desempeña la imagen en la televisión y cómo ha evolucionado con el paso del tiempo, ahora se adentrará a temas más propiamente del procesamiento de ésta y algunos problemas que podrían presentarse.

El procesamiento digital de imágenes lo podemos definir como el proceso de visualizar imágenes o hacer operaciones de ellas por computadora, de tal manera que la imagen adquiera una mejor calidad y se obtenga su información necesaria [UMB98] y [MAM07]. La problemática que aborda se encuentra enfocada en el mejoramiento de la imagen, su restauración, su reconstrucción y su compresión. Se describirán los objetivos de manera general de uno de los enfoques que tiene el procesamiento digital de imágenes.

5.5.1 Mejoramiento de la imagen

Destaca la información de objetos no identificados fácilmente en una imagen ofreciéndole una mejor apariencia de la escena a la visión del ser humano. Dada esta definición se puede intuir que el tema es un tanto subjetivo, sin embargo, se adentrará a las características que describan de manera práctica el enfoque que ofrece el mejoramiento. Existen cuatro aspectos que lo conforman [RS12]:

- Mejoramiento del contraste.
- Mejoramiento de bordes.
- Acentuado de determinadas frecuencias espaciales.
- Eliminación o atenuación de ruido.

A su vez el mejoramiento de la imagen se subdivide en tres operaciones [RS12] de las cuales una es de nuestro interés.

5.5.1.1 Operación puntual

La operación sobre la imagen de entrada arroja un resultado que depende sólo del pixel de entrada en sólo la posición del pixel. También se puede expresar como 5.1

$$t(x,y) = T[f(x,y)] \tag{5.1}$$

Donde $f(x,y)$ es el valor del pixel de entrada, (x,y) la posición de dicho pixel, T es una transformación que se aplica en el pixel de entrada y $t(x,y)$ es el pixel de salida.

Estas operaciones son consideradas como visión de bajo nivel ya que simplemente realzan características básicas, como es el contraste.

Algunas de sus ventajas son su fácil programación, la alta velocidad que se alcanza en su ejecución, son fáciles de implementar en hadware, las expresiones matemática implicadas son sencillas y procesan con una alta resolución espacial. Algunas operaciones son el cálculo y modificación del histograma, aplicación en falso color, modificación de la ganancia, transformación exponencial, transformación logarítmica paramétrica, transformación de la escala de niveles de grises, etc.

Una herramienta que se ha de mencionar es el histograma pues es fundamental en el manejo básico de un imagen, por ello a continuación se definirán algunas de sus características [RS12].

Histograma de una imagen. El histograma es una herramienta importante pues nos ofrece un panorama general de la imagen además de que facilita su procesamiento. Se define como una función del número de ocurrencias de un color que regularmente es gris, prácticamente representa la escala de niveles claros u oscuros. Para la matriz de intensidad I para el intervalo [0, k-1], el histograma contendrá k número de valores diferentes de intensidad. Y se define como en (5.1) [ORT15].

$$h(i) = a \tag{5.2}$$

Donde a es el número de pixeles que tienen la intensidad i

El diagrama del histograma se representa en los niveles de color contra la frecuencia de dichos niveles y la probabilidad muestral de cada nivel de gris se expresa en la función (5.2) [ORT15].

$$p(i) = \frac{h(i)}{MN} \tag{5.3}$$

Donde $h(i)$ es la función del histograma, N es el número de filas y M el número de columnas.

5.5.1.2 Operación Local

En este caso la operación en la imagen de entrada arroja un resultado que depende de la posición del pixel y la vecindad de dicho pixel y se expresa en (5.3).

$$t(x_c, y_c) = T[f(x_c, y_c)] \tag{5.4}$$

Donde el subíndice c indica el número de pixel en la vecindad, $f(x_c, y_c)$ es el valor del pixel de entrada, (x_c, y_c) la posición de dicho pixel, T es una transformación que se aplica en el pixel de entrada y $t(x_c, y_c)$ es el pixel de salida.

De manera que se puede utilizar cualquier tipo de vecindad pero tomando en cuenta que para facilidad de cálculos se utilizan vecindades cuadradas como las vistas con anterioridad.

Las técnicas de este tipo de operaciones son las que producen mejores resultados a comparación de las puntuales o globales, uno de los factores a tomar en cuenta es el análisis preciso que se hace en los niveles de grises, de estos podemos obtener un análisis en su comportamiento estadístico y correlación.

Otras ventajas que tienen dichas operaciones es una solución al problema de contornos borrosos debido a atenuación en altas frecuencias por la captura de imágenes ya que las operaciones posibilitan el poder resaltar o atenuar, por zonas, las frecuencias espaciales de una imagen, luego entonces se busca resaltar las frecuencias altas donde existe mayor detalle. Su desventaja se presenta en el costo computacional por causas como la utilización de la convolución.

Estas operaciones son el tema de interés pues por medio de filtros wavelet se incrementará la definición en las frecuencias bajas de tal manera que el procesamiento que se desea aplicar es entorno al juego con ventanas [RS12].

Filtrado de imágenes. Cuando una imagen es afectada por ruido se desea eliminar las componentes de éste por medio de filtrado, de igual manera cuando se requiere detalles como los bordes es útil la aplicación de un filtro. Dicho esto, un filtro se puede definir como un mecanismo que opera con una señal de entrada para tener una señal de salida diferente. En señales 1D se trabajaba con frecuencia temporal (ciclo/segundo), al tratar con imágenes se introducirá el concepto de frecuencia espacial (ciclo/pixel), esta es prácticamente lo

mismo que la temporal, sólo que ahora lo que cambia periódicamente ya no son los ciclos, sino el valor de los niveles de intensidad o niveles de gris en un intervalo o distancias de la imagen. Se obtendrán los coeficientes wavelets para el filtrado de la imagen [OW83].

5.5.1.3 Operación Global

La operación en la imagen de entrada arroja un resultado en la imagen de salida que depende en gran parte de los valores de pixeles en la imagen de entrada. Este tipo de operaciones son más complejas y algunas de las funciones que se hacen en su procesamiento son el cálculo de transformadas de Fourier, de Wash, de Hadammar, etc [RS12].

5.6 ¿QUÉ ES LA IMAGEN DIGITAL?

Los tipos de representación de la imagen son dos, las imágenes vectoriales que se encuentran formadas por objetos geométricos independientes, cuyos elementos principales son las llamadas curvas de Béizer y los mapas de bits, en éstos prácticamente la imagen es representada por una matriz de puntos, o bien, pixeles [UMB98].

5.6.1 Pixel (Picture Element)

Como su abreviatura lo expresa es un elemento de la imagen, de hecho es la unidad más pequeña que podemos encontrar en una imagen. Un pixel tiene tres características destacables:

- Proporción del pixel
- Posición relativa al mapa al resto de los pixeles de un mapa de bits
- Profundidad de color

La relación de aspecto describe la proporción de altura con respecto a la anchura, en la mayoría de los casos los pixeles tienen forma cuadrada, esto se verá afectado dependiendo de las normas técnicas de televisión que se utilicen.

5.6.2 Relaciones entre pixeles.

En las relaciones entre pixeles tenemos dos conceptos importantes que son la vecindad y la conectividad. La vecindad es la relación que existe entre la posición de un pixel y la posición de los pixeles más cercanos a él. Existen dos tipos de vecindades, la de 4-vecinos y la de 8-vecinos.

La vecindad 4-vecinos prácticamente son los pixeles de las cuatro orientaciones (V1, V2, V3, V4), arriba, abajo, derecha e izquierda, referido a la posición P del pixel.

La vecindad 8-vecinos son los cuatro pixeles de la vecindad 4-vecinos más los cuatro pixeles que se encuentran en diagonal al pixel de posición P.

La conectividad se puede interpretar como una propiedad de diferencia que tiene un pixel con otro al considerar la relación de vecindad. Si tomamos como objetos a los pixeles cuando se encuentran en la misma vecindad en lugar de tomarlos como luminosidad y decimos que se encuentran en una relación de 4-vecinos, el pixel que no se una a algún pixel de las vecindades con una de las cuatro posiciones básicas será considerado como un segundo objeto, sin embargo, si consideramos la relación 8-vecinos incluiríamos el pixel en diagonal y se consideraría como un solo objeto [CZP11].

5.6.3 Tipos de imágenes.

Las imágenes digitales requieren de un procesamiento para el control de la calidad, dado que trabajaremos con las características de éstas describiremos los tipos de imágenes en el procesamiento [CZP11] y [GAR11] y [MAM07]:

5.6.3.1 Imagen Indexada

Los colores asociados a cada pixel son tomados de una paleta que contiene 256 valores diferentes, el valor de cada pixel indica el color usado. Al cambiar una imagen de color RGB a una imagen indexada, el programa reduce los tonos presentes en la misma, con lo que la imagen pierde calidad si tiene una gran gama de colores.

5.6.3.2 Imagen a escala de grises

Este tipo de imágenes contiene solamente la información de brillo y representan a imágenes monocromáticas. La representación matricial de estas imágenes se encuentra en el número de bits que se utilicen por pixel, que determinará el número de los diferentes niveles de brillo. Normalmente las imágenes contienen 8 bits por pixel, por tanto, los datos que conforman la imagen se encuentran en el intervalo de [0, 255].

5.6.3.3 Imagen Binaria

Estos tipos de imágenes son arreglos que no cuentan con valores numéricos sino que contienen unos y ceros representando estados o propiamente pixeles, normalmente este tipo de imágenes se crean para imágenes a escala de grises y por tanto los estados que toma el 0 y 1 son negro y blanco respectivamente.

5.6.3.4 Imagen de color RGB

Este tipo de imágenes son modeladas por tres bandas monocromáticas, en la información de brillo de cada una de estas bandas se encuentran los datos de la imagen. Usualmente los colores que se utilizan son rojo verde y azul, usan 8 bits para cada banda de color, por lo que tendríamos 24 bits por pixel.

5.6.4 Imagen Digital

Para obtener imágenes digitales se requiere previamente un proceso de captura, uno de muestreo, de cuantificación y de codificación [ORT15] y [GAR11].

5.6.4.1 Muestreo

En el muestreo se toman medidas instantáneas de una señal analógica cambiante en el tiempo, como lo es la amplitud de la forma de onda de la señal. El teorema de Nyquist dice que para poder recuperar la señal analógica en el muestreo, sin perder información, se muestrea el doble de la frecuencia máxima.

$$f_m \geq 2f_{máx} \tag{5.5}$$

Con f_m como la frecuencia de muestreo y $f_{máx}$ como la frecuencia máxima del ancho de banda de la señal.

5.6.4.2 Retención

Para efectuar una conversión correcta se requiere un valor constante en la entrada y salida del proceso que efectúa en cada muestra, el valor se conservará en la etapa de retención hasta la siguiente etapa de muestreo. En la parte electrónica su implementación se hace mediante acumuladores de energía como lo es el capacitor.

5.6.4.3 Cuantificación

Cada muestra que se obtiene representa la amplitud de la señal, después se definen intervalos donde puede caer la muestra (pasos o niveles de cuantificación), todas las muestras que caen dentro de este intervalo tienen el mismo valor. Regularmente en la conversión de señal analógica a digital los niveles de cuantificación son 256.

5.6.4.4 Codificación

Después de la cuantificación sólo queda dar a nuestros 256 posibles valores una representación. Si utilizamos un código binario, con tan solo 8 bits podemos representar todos los pasos de cuantificación (2^8=256), al resultado que se genera se le conoce como palabra PCM.

Al trabajar con una imagen digital, debemos considerar que nos referimos a una función de intensidad bidimensional que depende de dos variables espaciales o coordenadas, el valor de la función es el nivel de color de la imagen, el nivel de gris o la intensidad de luz [MAM07]. Dicha función se verá afectada por diferentes procesos como puede ser la propia transmisión, la compresión, la descompresión, el filtrado, etc.

$$I(x,y) = \begin{bmatrix} I(1,1) & I(2,1) & \dots & I(N,1) \\ I(1,2) & I(2,2) & \dots & I(N,2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(1,M) & I(2,M) & \cdots & I(N,M) \end{bmatrix} \tag{5.6}$$

El modelo más común para representar una imagen es de forma matricial. Para tener un control en la calidad de imagen requerimos tener el conocimiento de nuestros datos, qué tanto se degrada al pasar por cada uno de los procesos y cuál es la cantidad de datos aún existentes de la señal de referencia [CZP11].

Las imágenes están creadas por elementos de luz y sombra, en imágenes digitales les podemos denominar pixeles. Cada elemento de la matriz representa un pixel y el tamaño de estos es lo que determina el detalle de la imagen, esto es un parámetro que influye en la calidad, entre más pequeño sea el pixel mejor será la definición de la imagen [ORT15].

5.6.5 Ruido en la Imagen Digital

El ruido en imágenes es procedente de una gran cantidad de fuentes. Un ejemplo es el proceso de captación, cuando la imagen óptica se transforma en una señal eléctrica continua que después se muestrea. Sin embargo, mientras más se avanza en el procesamiento digital, se agregan valores aleatorios al valor del pixel deseado. Al tratar la imagen para un aumento en la calidad existirán ciertos tipos de ruidos, estos se pueden dividir en tres categorías que se describirán a continuación [GAR11], [RS12] y [MAM07]:

5.6.5.1 Gaussiano

Este ruido produce pequeñas variaciones en los pixeles y puede representarse como la suma de una cantidad de error más el valor final de un pixel ideal. Su distribución se asemeja, como bien lo dice su nombre, a una distribución Gaussiana. Puede ser causado por el medio de transmisión, digitalizadores, sensores, etc. Y su característica principal es que afecta a toda la imagen, de tal manera que como pasa en cualquier señal la densidad del espectro de ruido Gaussiano se encuentra en todas las frecuencias de manera constante.

$$g(z,y) = f(z,y) + n(z,y) \tag{5.7}$$

Con $f(z,y)$ como el pixel ideal, $n(z,y)$ modelando la cantidad de error bidimensional y $g(z,y)$ el pixel más el error por ruido Gaussiano.

5.6.5.2 Impulsional

Normalmente es causado por la saturación del sensor o un valor mal captado y toma los valores diferentes a los de un pixel ideal, también es conocido como sal y pimienta. Se observa contraste de los pixeles con ruido en la pequeña cantidad de pixeles que es afectada.

$$g(x,y) = (1-p)\cdot f(x,y) + p\cdot i(x,y) \tag{5.8}$$

Con $f(x,y)$ como el pixel ideal, $i(x,y)$ modelando un error bidimensional, p la probabilidad de ocurrencia del error y $g(x,y)$ el pixel ideal con ruido impulsional.

5.6.5.3 Uniforme

Este ruido se divide en frecuencial y multiplicativo. En el ruido uniforme frecuencial la imagen obtenida es la real más un porcentaje de error de señal periódica y en el ruido uniforme multiplicativo la imagen obtenida es el resultado de la multiplicación de dos señales

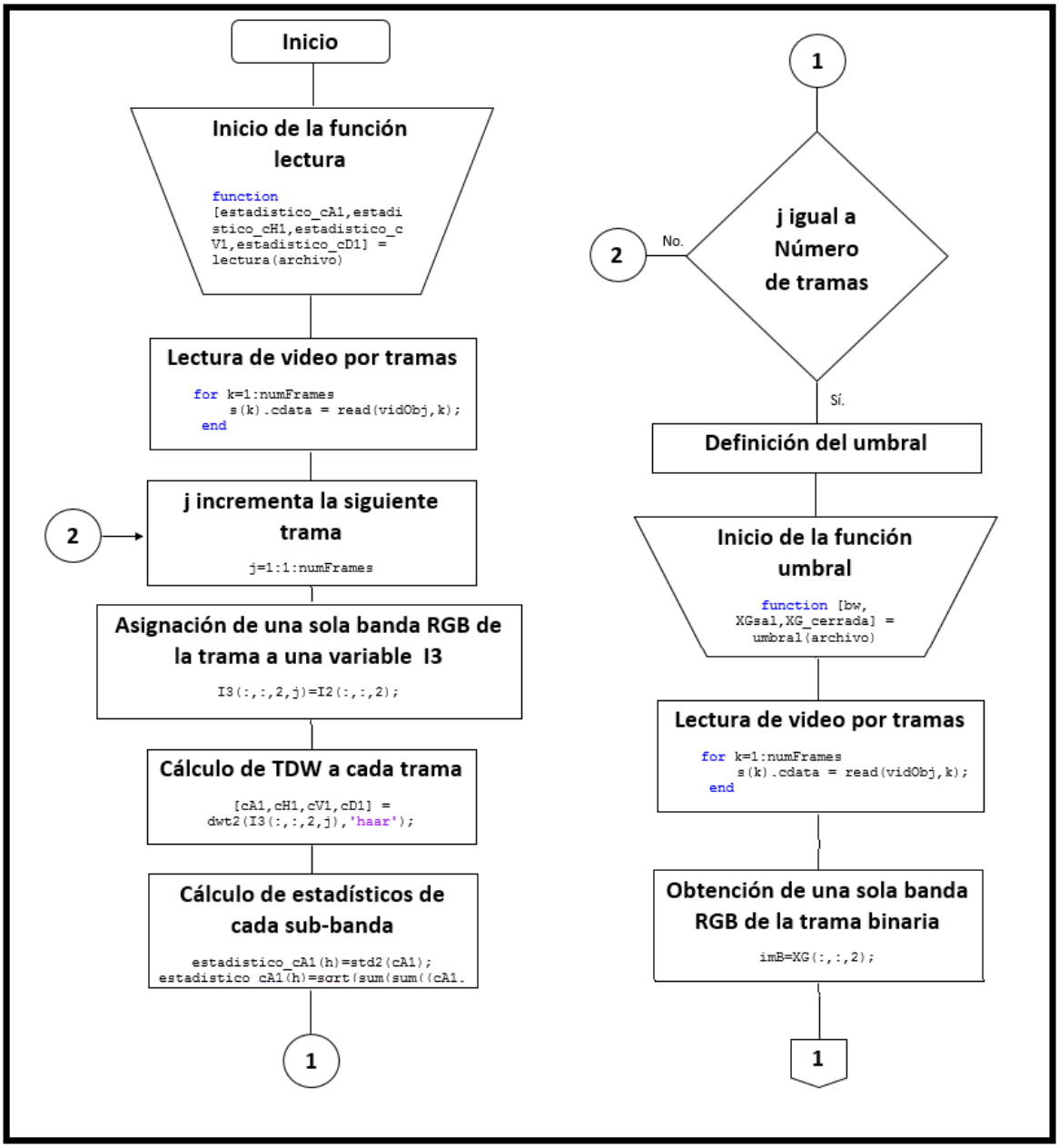
$$g(x,y) = f(x,y)\cdot m(x,y) \tag{5.9}$$

Con $f(x,y)$ como el pixel ideal, $m(x,y)$ siendo otro pixel ideal y $g(x,y)$ el producto de los pixeles con ruido adquirido.

Capítulo VI

APLICACIÓN: FILTRADO DE IMÁGENES HD Y SD

Como se había mencionado en la introducción, el objetivo es obtener la mejor detección de ruido a partir de filtros wavelet implementados en MATLAB. Para continuar con el enfoque del objetivo se muestra un diagrama de flujo con las partes esenciales del código empleado para detección cuya representación es la del proceso en cada parte de la aplicación. El diagrama de flujo comienza por la lectura de las tramas de video para después generar una variable multidimensional que guarde una sola banda de color RGB de cada trama,



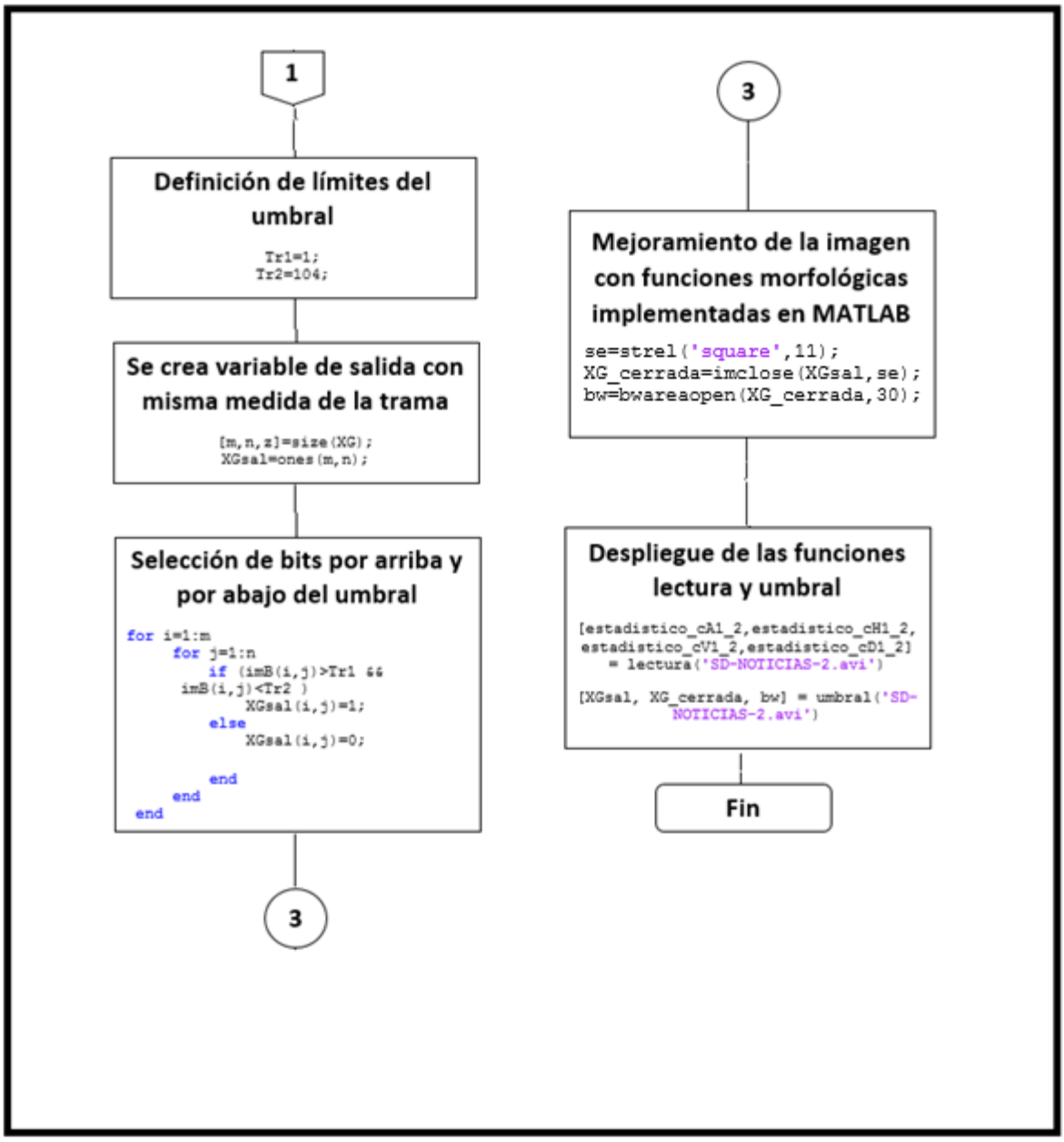


Figura 6.1) Diagrama de Flujo del proceso general del código.

posteriormente se aplica una transformada wavelet analizando el filtrado de esta wavelet con el cálculo de la energía y desviación estándar, todo ello siendo contenido en un ciclo hasta finalizar el análisis en cada trama. Después se definirá un umbral dependiendo los gráficos de estadísticos para posteriormente pasar a la función de clasificación de bits y usar funciones morfológicas que detecten pixeles no correspondientes a su vecindad como es el comando en MATLAB “strel”. Se ejemplificará con el despliegue de una sola imagen con ruido. Las tramas de video se obtendrán de un tramo de programación que

regularmente se encuentra en televisión. Se ejemplificarán las características en cuanto al análisis de los filtros con un tramo de programación de noticias con estándar HD. Posteriormente se mostrarán los gráficos de tramos de programación de películas en ambos estándares SD y HD. Por último se ejemplificará el código clasificador con un tramo de pelicula con estándar SD. Cabe mencionar que los gráficos de esta programación se encuentran en el apéndice, capítulo 10.

6.1 DICCIONARIO DE TRANSFORMADAS WAVELETS DISCRETAS

Se analizará particularmente la aplicación de la TDW de cada madre wavelet para el caso de una imagen sin ruido y una imagen con ruido, con el fin de obtener características importantes en la selección de la mejor wavelet para un filtro. Así mismo, se analizarán los efectos que se presenten en la aplicación a imágenes SD y HD, haciendo una comparación entre los dos estándares.

Recordando el capítulo dos, la TDW convertía una función en otra cuyas características eran de la función original, de esta manera el análisis en frecuencia llega a contener información fundamental. Los filtros empleados en este trabajo son filtros FIR (Finite Impulse Response) y las diferentes wavelets ocupadas en el desarrollo del trabajo cuentan con diferentes características útiles para una valoración entre pruebas de análisis de imágenes y percepción de ruido empleando estadísticos representativos.

La wavelet Haar fue la primera base de wavelet ortogonal existente, de hecho es la wavelet más fácil de implementar, la ecuación scaling contiene sólo dos coeficientes diferentes de cero en todo el eje del tiempo [ALA16]

$$\phi(t) = h_0\emptyset(2t) + h_1\emptyset(2t-1) \tag{6.1}$$

Y la ecuación wavelet

$$\psi(t) = h_1\emptyset(2t) - h_0\emptyset(2t-1) \tag{6.2}$$

Cuyas soluciones fueron expresadas en el capítulo dos en (2.8) y (2.9) representando funciones escalón. La generalización de cada nueva escala se ejemplifica en 6.3 y 6.4 [ALA16].

$$\phi(x) = \cdots + h_{-2}\phi(2x+2) + h_{-1}\phi(2x+1) + h_0\phi(2x) + h_1\phi(2x-1) + h_2\phi(2x-2) + h_3\phi(2x-3) + \cdots \tag{6.3}$$

$$\psi(x) = \cdots + h_{-2}\phi(2x-3) + h_{-1}\phi(2x-2) + h_0\phi(2x-1) + h_1\phi(2x) + h_2\phi(2x+1) + h_3\phi(2x+2) + \cdots \quad (6.4)$$

Siendo los términos h_i los coeficientes del filtro y en su conjunto generan la matriz H expresada para su implementación digital en 6.5.

$$T = HIH \quad (6.5)$$

Siendo I la imagen de dimensiones NxN y H la transformada Haar que pre y pos-multiplica a la imagen. La función de la transformada Haar en un intervalo de [0 1], está definida como 6.6.

$$h_{\emptyset} = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (6.6)$$

Con $N = 2^n$ como la longitud del filtro. Donde la transformada Haar tiene como componentes filtros paso-bajos $H(z)$ y paso-altos $G(z)$ [GW08].

$$H_m = \begin{bmatrix} H(z) & G(z) \\ H(-z) & G(-z) \end{bmatrix} \quad (6.8)$$

Con $H(z) y\, G(z)$ como filtro basa bajas y pasa altas respectivamente con dimensión dependiendodell número de coeficientes

Al igual que la TDW Haar la Transformada Discreta Wavelet con Daubechies utiliza un conjunto de filtros discretos para pasa bajas y para pasa altas representados con la siguiente matriz.

$$\begin{bmatrix} p(0) & p(1) & \cdots & p(N-1) \\ q(0) & q(1) & \cdots & q(N-1) \end{bmatrix} \quad (6.9)$$

Donde p y q son los filtros periódicos de soporte compacto y coeficientes finitos. Por tanto la matriz tiene dimensión de 2xN. También su representación puede ser expresada en términos de p(n) como se muestra.

$$\begin{bmatrix} p(0) & p(1) & \cdots & p(N-1) \\ p(N-1) & -p(N-2) & \cdots & p(0) \end{bmatrix} \quad (6.10)$$

En la figura 6.1 y 6.2 se pueden observar los efectos de las dos wavelets descritas anteriormente. Se tomará en cuenta las características que otorguen las sub-bandas con cada wavelet madre, respecto a la resolución. En la figura 6.1 la resolución de la wavelet Haar es la estándar respecto a la imagen original, mientras que la Daubechies se redujo en en la sub-banda de aproximación. Las sub-bandas de detalle muestran como su nombre lo

dice los detalles de la imagen, sin embargo también se ven afectadas por ruido que se encuentra en los contornos, es aquí donde se encuentra la mayor cantidad de ruido, sin embargo es fácil de apreciar [GW08].

Con el fin de no hacer muy extenso el análisis de wavelets respecto a su codificación en sub-bandas, sólo se ejemplificaron estas dos wavelets, cuyo aporte es mayoritario respecto a las demás en las aplicaciones de imágenes digitales [LES06].

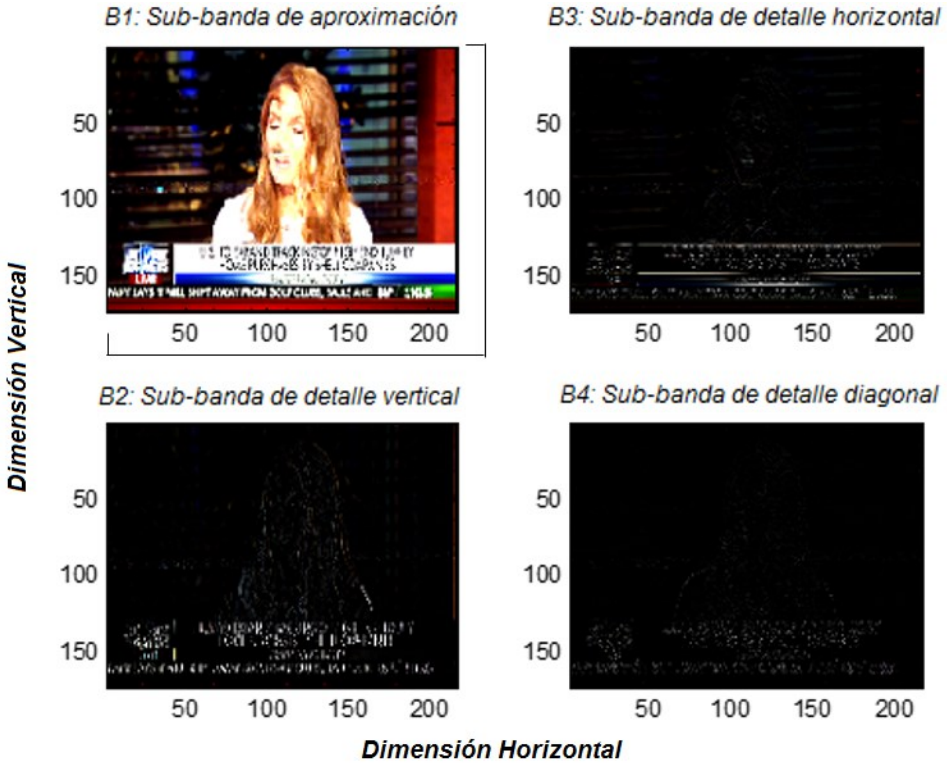


Figura 6.1) Transformada Discreta Wavelet aplicada con wavelet Haar

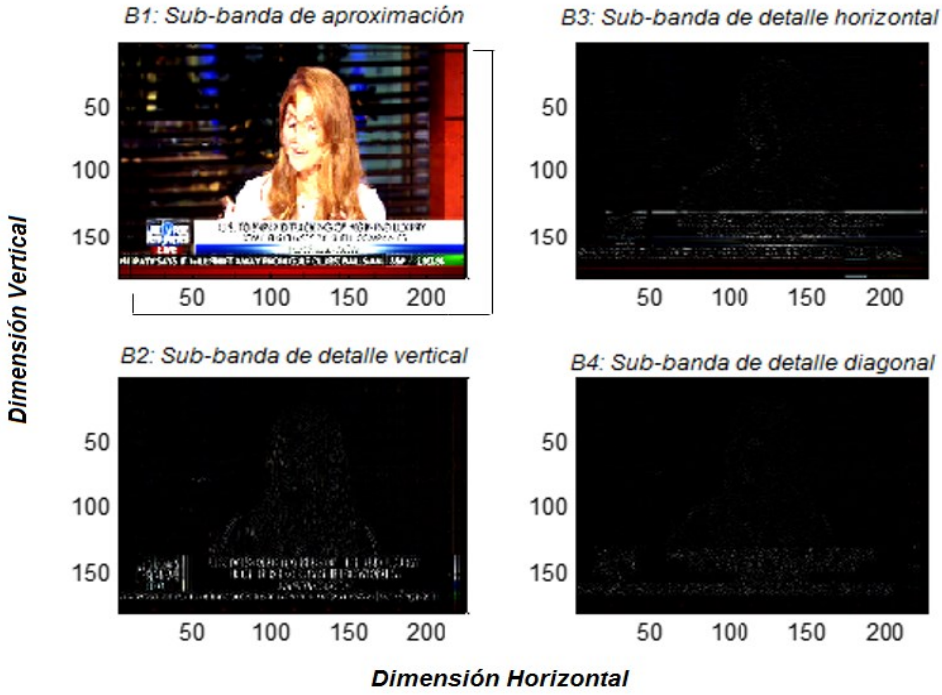


Figura 6.2) Transformada Discreta Wavelet aplicada con wavelet Daubechies

6.2 CÁLCULO DE ESTADÍSTICOS PARA LAS DIFERENTES SUB-BANDAS

6.2.1 Energía

La energía total de una señal discreta x[n] en un intervalo de tiempo $n_1 \leq n \leq n_2$, se define matemáticamente como en (6.8) [OW83].

$$E = \sum_{n=n_1}^{n_2} |x[n]|^2 \tag{6.11}$$

Se localiza en tiempo y en frecuencia con restricciones de resolución, entendiendo como ejemplo el caso de la Transformada de Fourier, mientras su distribución sea mayor en el dominio del tiempo en la frecuencia se concentrará en un pequeño intervalo.

Para fines prácticos se expresarán los coeficientes de dilatación y aproximación de la siguiente forma.

$$c_{j_0}(m,n): coeficientes\ de\ aproximación$$

$$d_j(m,n): coeficientes\ de\ detalle$$

La energía contenida en cada banda se expresa en (6.9).

$$B_i = \sum_{m=0}^{2^{J-j}-1} \sum_{n=0}^{2^{J-j}-1} \left(d_j(m,n)\right)^2 \tag{6.11}$$

Siendo 2^{J-j} la longitud del filtro y recordando que j y m, n son los parámetros discretos de dilatación y traslación respectivamente.

La energía de la señal de entrada al filtro wavelet es el total de todos los coeficientes tanto de aproximación como de detalle y al sufrir la descomposición por los filtros mencionados en el capítulo 2, el espectro de energía es representado por escalas de cada descomposición. Para su cálculo estadístico se utilizó la media geométrica.

$$E = (c_J(0))^2 + \sum_{j=1}^{J} \sum_{m=0}^{2^{J-j}-1} \sum_{n=0}^{2^{J-j}-1} \left(d_j(m,n)\right)^2 \tag{6.12}$$

Tomando en cuenta la distribución de energía en el proceso de AMR se pretende adecuar por medio de diferentes estadísticos la distribución óptima para la visión de la imagen, al ser el mejoramiento de la imagen un campo tan amplio se buscará el ajuste con todas las herramientas a disposición.

Para el análisis heurístico se dividió un video con calidad HD y otro SD en partes donde la cantidad de ruido fuera diferente, de esta manera se asimilaría su efecto en el estadístico aplicado.

En las curvas de la figura 6.3 se muestra el resultado del estadístico de energía aplicado a las imágenes de tres divisiones de video con estándar HD. La programación empleada se aplicó a una sola banda de color con la finalidad de un procesamiento rápido y conocer el comportamiento de la intensidad particular de lo que después podría implementarse en un sistema RGB.

De los tres tramos de una película con calidad HD, un primer tramo no contiene ruido, el segundo tramo contiene ruido en algunas partes y el último tiene presente el ruido en todas las tramas. Siendo así, se aprecia cómo el comportamiento de la energía varía por el efecto del ruido. Las curvas de energía en las partes de la película con mayor presencia de ruido tienen cambios bruscos en los coeficientes de aproximación y detalle. La variación de los niveles se presenta más en los coeficientes de detalle, interpretando esto como el efecto del ruido presente en las frecuencias altas.

Es importante resaltar que la distribución de la energía no necesariamente debe tener un comportamiento uniforme o con una tendencia esperada. El cambio de la curva se ve afectado por la intensidad de los pixeles en el caso de una imagen blanca y negra y en este caso de los niveles del color de la banda seleccionada.

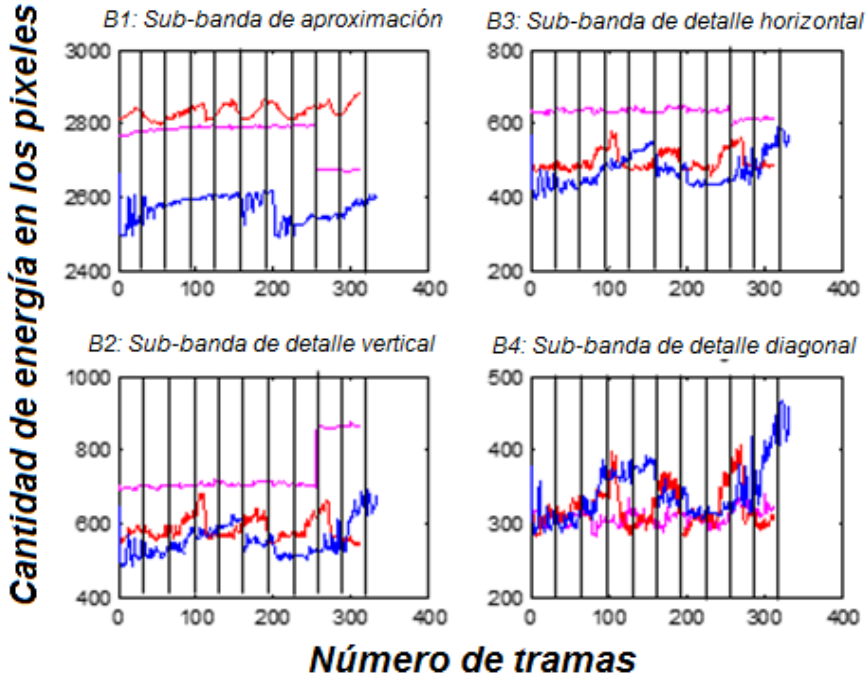


Figura 6.3) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Películas HD.

Se corrió el programa para el tramo de la película con ciertas partes afectadas por el ruido con la finalidad de esclarecer el comportamiento del ruido en la imagen y en los propios coeficientes wavelets. Se detectó el ruido con la visualización del corrimiento de tramas,

ubicando cuándo empezaba y terminaba el ruido y seccionando en intervalos las tramas afectadas de cada coeficiente.

En la figura 6.4 se muestran los resultados. En la aproximación de la imagen no es tan clara la presencia del ruido, la variación en esta sub-imagen no oscila de manera drástica por ello no se puede tomar un hipótesis con sólo ésta. Las bandas de detalles muestran mayor información en cuanto a la ubicación del ruido para posteriormente definir un umbral o tener una detección semiautomática. En el caso de las otras curvas es imposible tomar información útil

Los detalles de la imagen tendrían un nivel bajo de intensidad en comparación con la aproximación de la imagen y la posible detección sería entorno a los cambios altos de nivel.

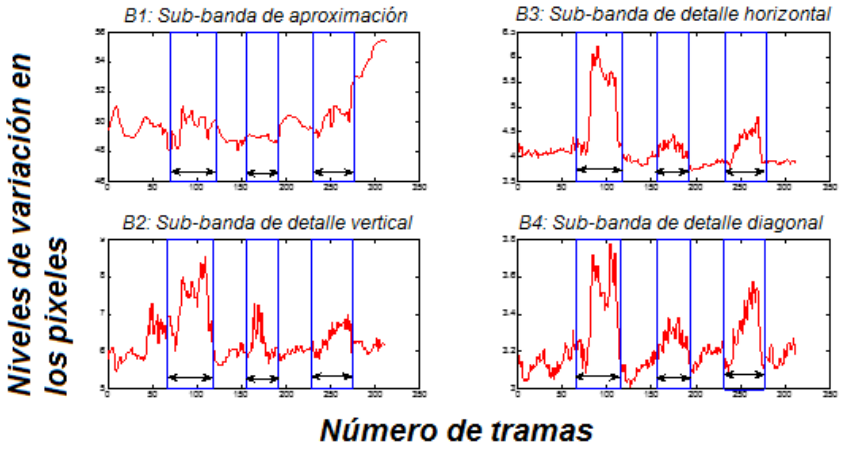


Figura 6.4) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de imagen HD.

En el apéndice, apartado 10.2 se encuentra la serie de estadísticos de energía con diferentes transformadas, en este mismo se observa que la cantidad de tramas en el rango delimitado por el conocimiento previo de las tramas con ruido, tiene mayor exactitud aplicando la TDW coiflet 5.

Se empleó el mismo procedimiento para la definición estándar y los resultados de los tres tramos de película se muestran en la figura 6.5.

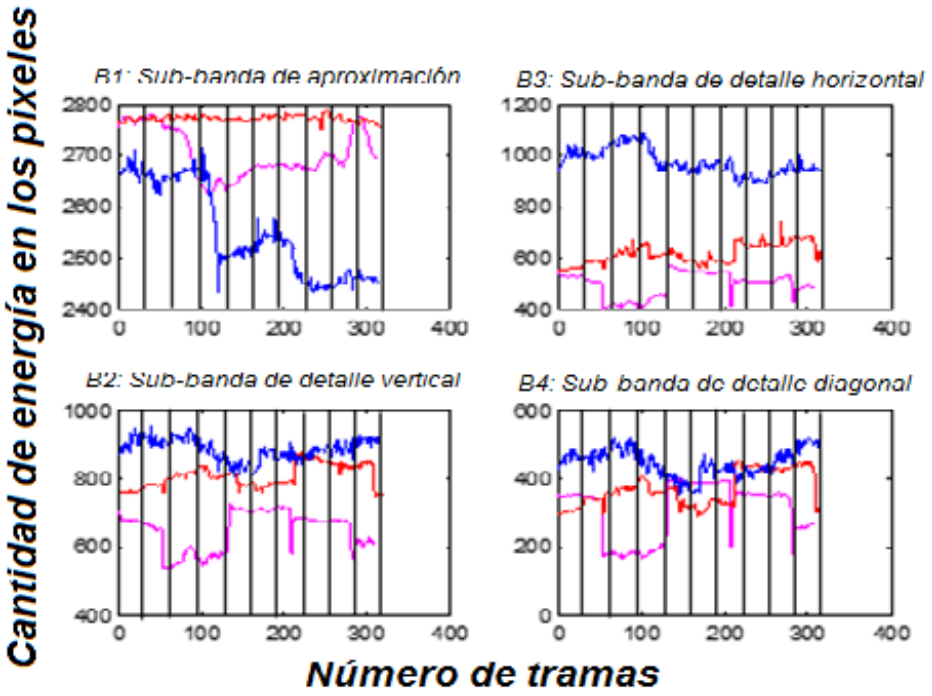


Figura 6.5) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Películas SD.

En esta prueba se observa que la uniformidad de la energía no implica la carencia de ruido. El tramo de película con ruido en algunas partes también fue analizado para su detección de ruido y los resultados se muestran en la figura 6.6. La información brindada por los intervalos de tramas con ruido tiene una característica en común y es la distribución aleatoria y los pequeños cambios de nivel en bandas de detalle. De hecho no se nota una variación de niveles por causa del ruido en todo el intervalo detectado.

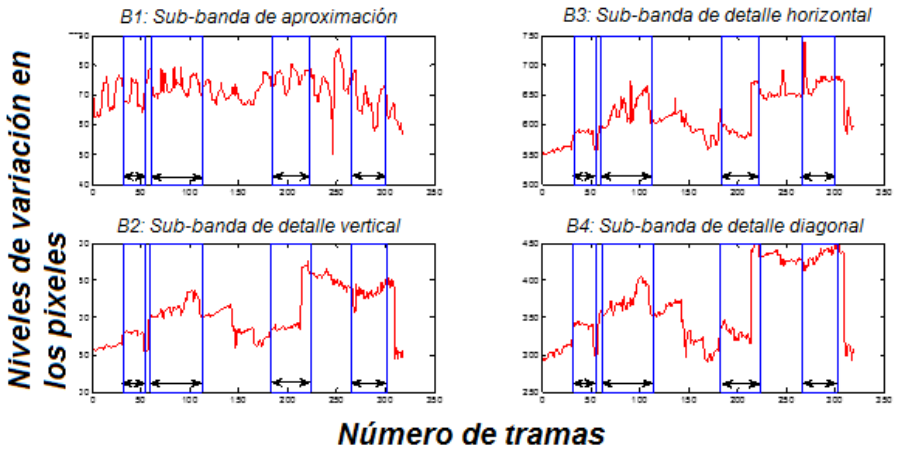


Figura 6.6) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de imagen SD.

6.2.2 Desviación estándar

La desviación estándar en la imagen parte de su histograma dividiendo los niveles altos en una mitad y los niveles bajos en la otra mitad de valores, prácticamente es la variación de información en la imagen (el contraste).

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{x=1}^{n}(x-\bar{x})^2} \tag{6.13}$$

En la figura 6.7 se observa el estadístico de desviación estándar con la misma dinámica del estadístico de energía. Los comportamientos de las curvas poseen cierta similitud con las curvas de energía. Aunque sean diferentes interpretaciones la variación de información es la que se expresa en ambas, de tal manera que los datos llegan a tener similares cambios de nivel, al comparar los dos estadísticos los cambios entre ellos son invertidos, sin embargo, posen las mismas características en cuanto a distribución. De cierta forma es la verificación de perturbaciones referentes al ruido presente en las gráficas, tomando relevancia en la ubicación de tramas con ruido.

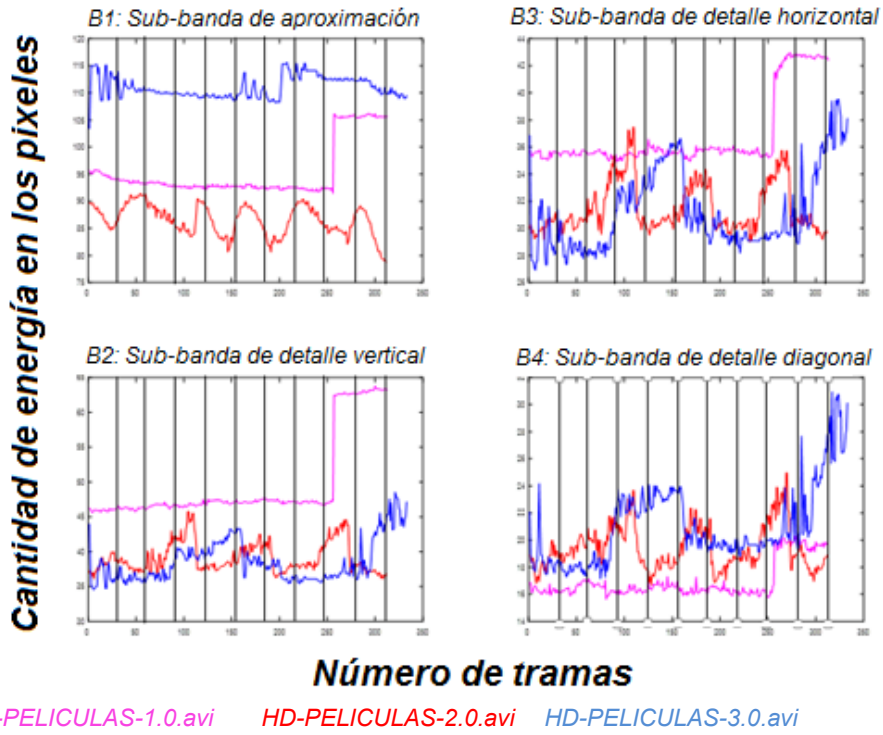


Figura 6.7) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Películas HD.

En la figura 6.8 se observa la distribución para un solo tramo de película y en comparación con el estadístico de energía, los niveles de intensidad en las bandas de detalle son mayores.

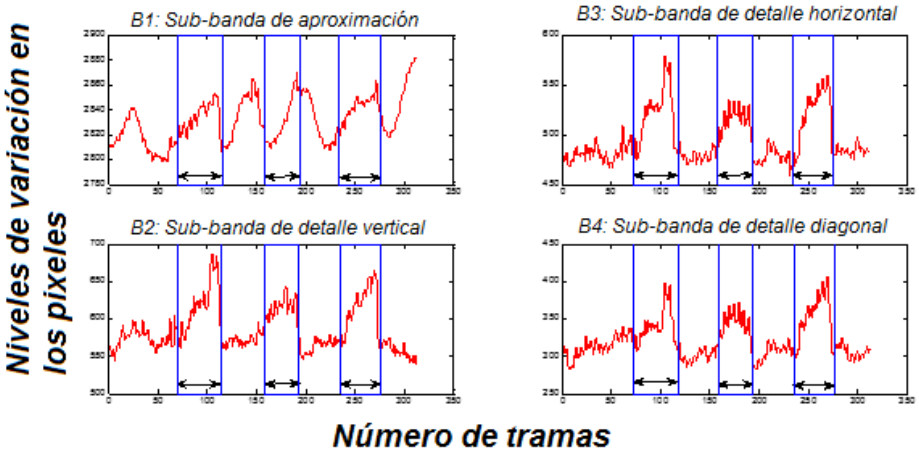


Figura 6.8) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de imagen HD.

También se realizó la prueba en imágenes SD con resultados parecidos en cuanto a cambios de nivel en intensidad de cada pixel, obteniendo la figura 6.9.

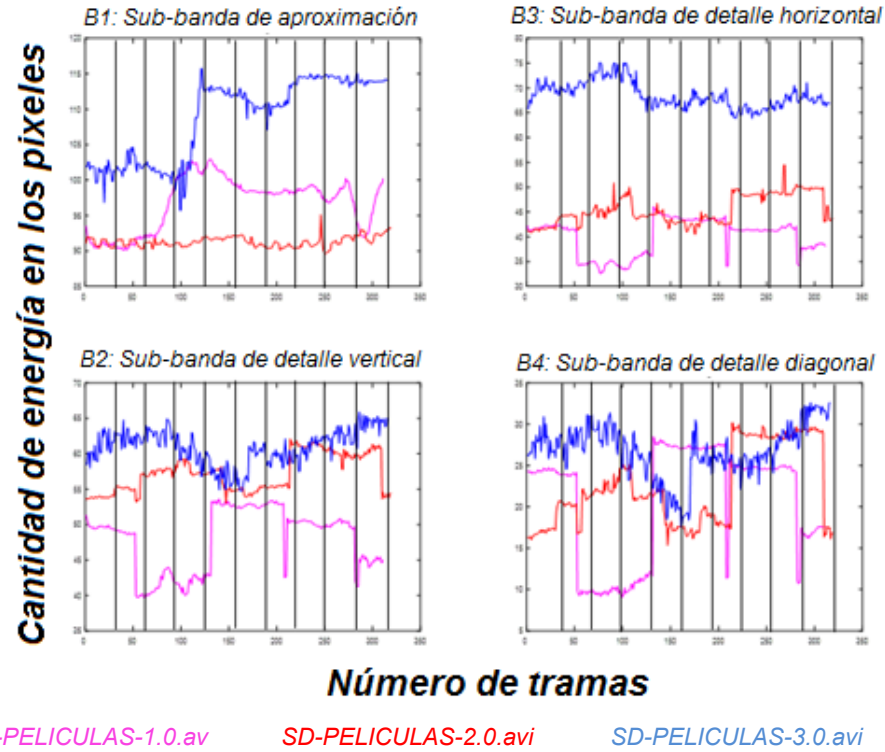


Figura 6.9) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Películas SD.

Y en la figura 6.10 se muestra la detección del ruido para un vídeo con algunas partes de ruido. En este gráfico no hay muchas variaciones en cuanto a la presencia de ruido por ello es complicado dar una posible hipótesis.

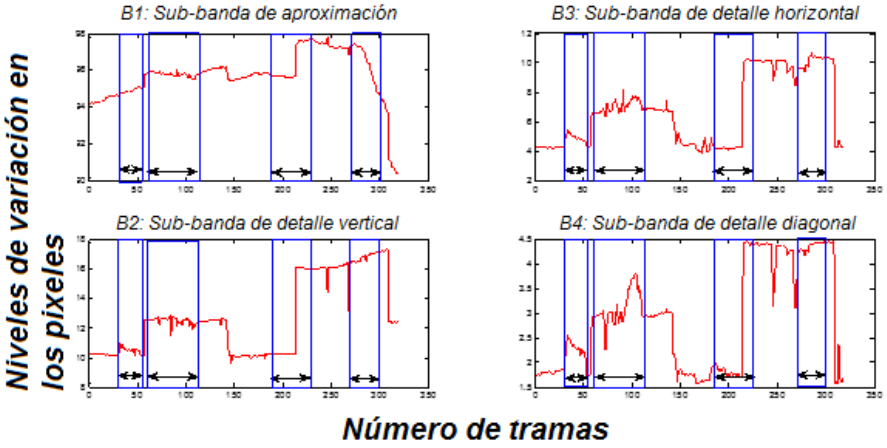


Figura 6.10) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de imagen SD.

6.3 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN A PARTIR DEL PATRÓN DE ESTADÍSTICOS QUE SUPERE DETERMINADO UMBRAL

Para definir un umbral con los gráficos obtenidos y junto con el conocimiento previo del comportamiento del video [RS12] se identificó primero las tramas con ruido y después el umbral correspondiente a la cantidad de intensidad sin efecto del ruido. La energía de la secuencia de tramas favoreció la localización de tramas con ruido, mientras que la desviación estándar definió por medio de la intensidad uniforme aproximada promedio el umbral en cada sub-banda, siendo una medida de contraste.

A continuación se obtuvo el comportamiento de los niveles de umbral para el tramo de peliculas SD cuya variación se encontraba entre los 114 y 116 niveles de intensidad. Se empleó el umbral a nivel de intensidad de 114 para el menor ruido posible.

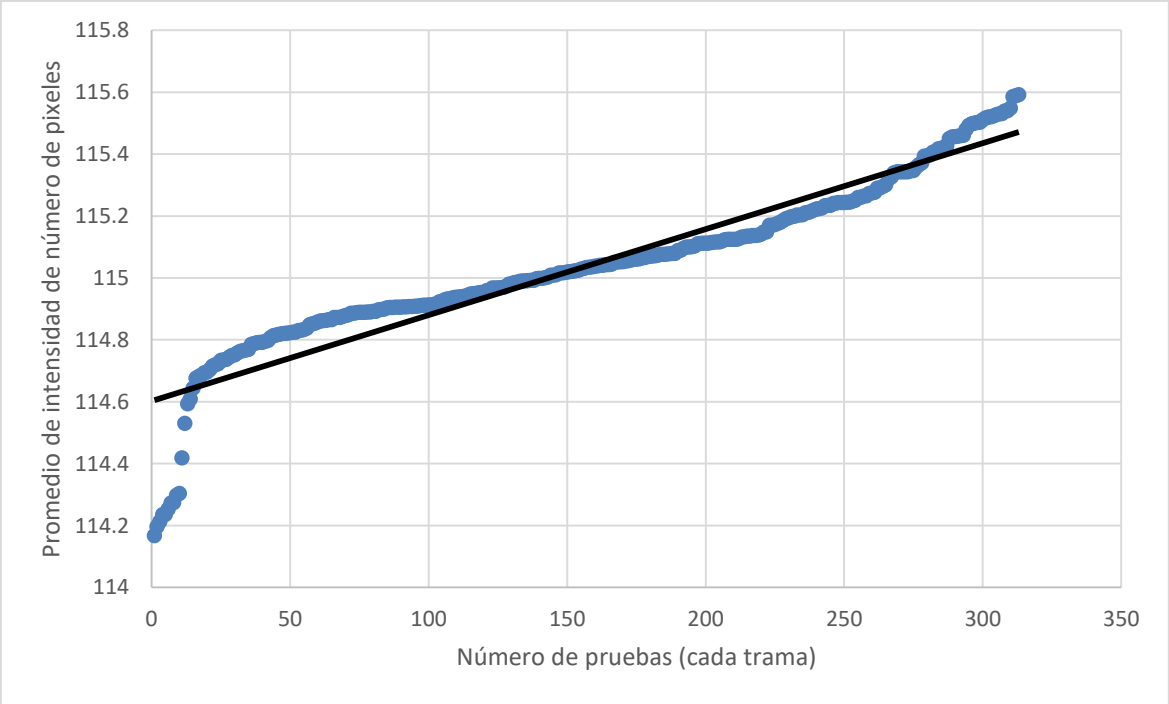


Figura 6.11) Tendencia de la desviación estándar

Se muestra en la figura 6.12 que al ser la distribución del histograma una aproximación a la distribución exponencial la desviación estándar se aproxima a la media [MAL09].

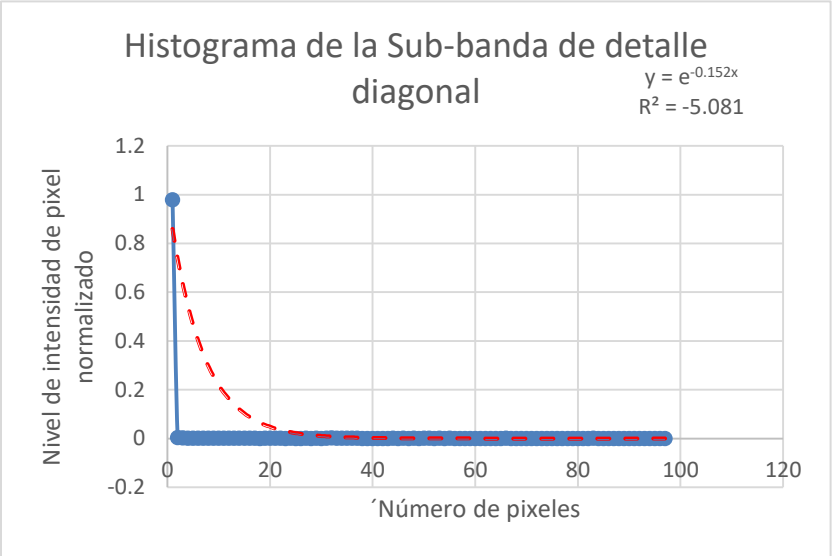


Figura 6.11) Distribución de Sub-banda de detalle diagonal

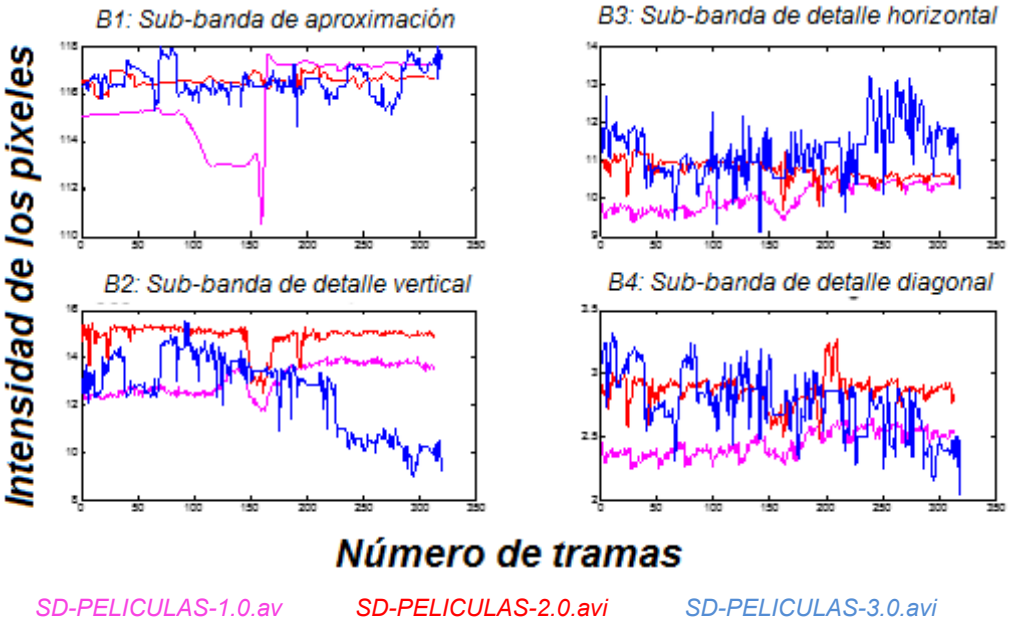


Figura 6.12) Estadístico de media aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Películas SD.

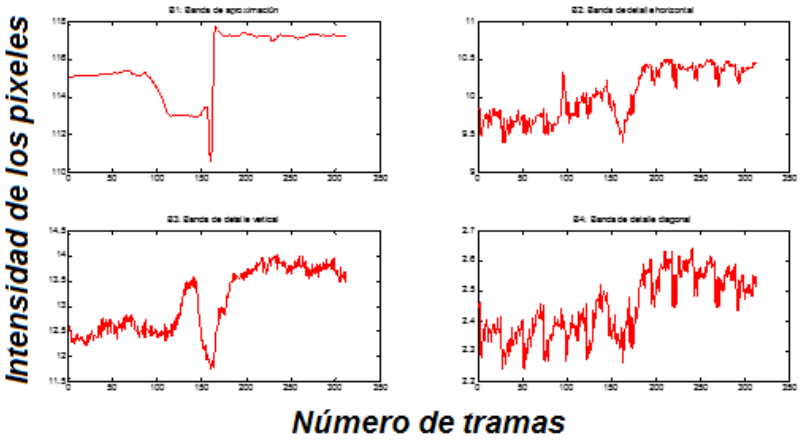


Figura 6.13) Estadístico de media aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de imagen SD con coif5.

Se aplicó un código clasificador binario con funciones morfológicas ya existentes en MATLAB para la verificación del umbral, definiendo los pixeles correspondientes a la vecindad. En la figura 6.14 y 6.15 se muestran los resultados, siendo el análisis para una banda de color, en 6.14 sólo se aplica el clasificador binario y en 6.15 se utiliza también la función morfológica.

Figura 6.14) Imagen con ruido

Figura 6.15) Imagen filtrada con umbral de 114 niveles
de intensidad, (debajo del límite)

Figura 6.16) Imagen filtrada con umbral de 114 niveles
de intensidad y funciones morfológicas.

Capítulo VII

ESQUEMA DE APLICACIÓN

7.1 IMPLEMENTACIÓN WAVELET EN MATLAB

El software ocupado para el desarrollo del filtro wavelet es MATLAB[1] cuya aplicación al procesamiento de imágenes es adecuado debido a su manejo de datos en forma de matrices y su fácil visualización para la obtención de información. Dada la importancia de la Teoría Wavelet que ha venido surgiendo en las últimas décadas, se ha desarrollado un Toolbox Wavelet, que provee un procesamiento eficiente en el análisis y síntesis de señales e imágenes. En la actualidad el entorno del software se ha desarrollado tanto que incluso la Toolbox Wavelet ya se encuentra integrada en versiones recientes, de esta manera el desarrollo del trabajo fue sólido en cuanto a pruebas de las diferentes transformaciones.

Mediante la programación de ciclos y algunos comandos en MATLAB de captura de tramas se realizó la lectura de tramos de video con estándares HD y SD, los resultados de sus características se muestran en la tabla 7.1 y 7.2 respectivamente.

Tabla 7.1) Características de TDW con estándar HD

Wavelet	Implementación en MATLAB	Resolución respecto a la estándar	Cantidad de región en bandas de detalle
Haar	'haar'	normal	media-baja
Deubechies	'DbN'	menor	baja
Biortogonal	'biorN.N'	menor	baja
Symmlet	'symN'	menor	media-baja
Coiflet	'coifN'	menor	media-baja

Tabla 7.2) Características de TDW con estándar SD

Wavelet	Implementación en MATLAB	Resolución respecto a la estándar	Cantidad de región en banda de detalles
Haar	'haar'	normal	media-baja
Deubechies	'DbN'	menor	media-baja
Biortogonal	'biorN.N'	menor	baja
Symmlet	'symN'	menor	baja
Coiflet	'coifN'	menor	baja

1(Matrix Laboratory), propietario MathWorks. El uso de este software es solamente académico.

7.2 ANÁLISIS MEDIANTE WAVELETS Y ESTADÍSTICOS PARA DETECCIÓN DE RUIDO

En el análisis de estadísticos se hizo una valoración de cambios entre niveles de cada trama, tomando en cuenta el tipo de dato que se manejó en el programa, conformado por 8 bits generadores de 255 niveles de intensidad y normalizados en el rango de [0 1].

Para la obtención de la energía el programa manejado hace operaciones puntuales entre matrices, después promedia los pixeles de la imagen y asigna así un nivel de intensidad para el coeficiente wavelet de una sola trama. Para obtener la desviación estándar fue un procedimiento más sencillo pues las herramientas de MATLAB cuentan con un comando específico para matrices. Se desarrolló de esta manera para todas las tramas y los coeficientes de aproximación y detalle por trama, dando como resultado los gráficos mostrados en el capítulo 6 y en el anexo del escrito.

En la siguiente tabla se describirán las tramas de los vídeos analizados en cuanto a sus estándares y la cantidad de ruido detectada, haciendo una clasificación para los estándares cuyo ruido es mayor.

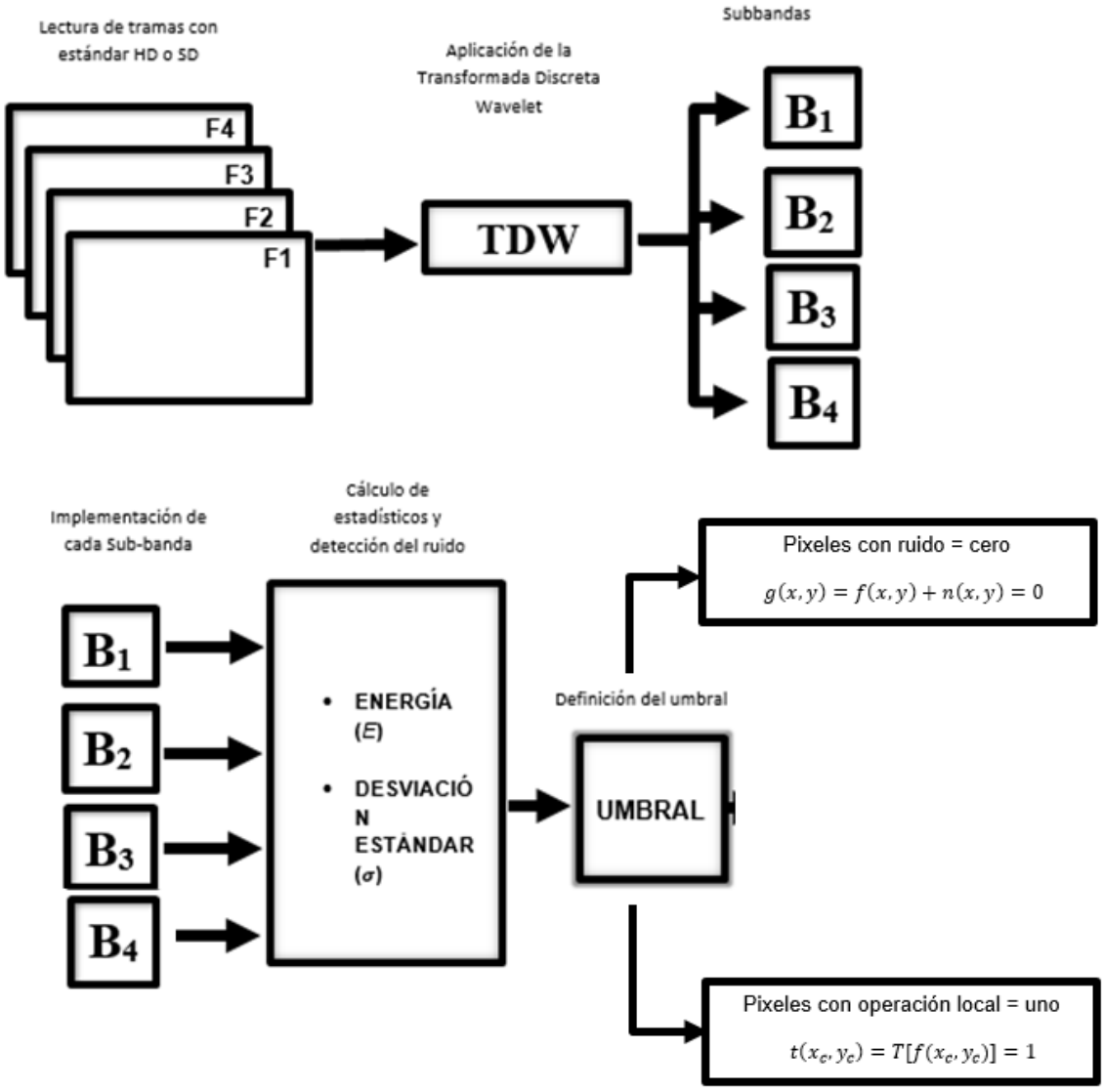
Tabla 7.3) Descripción de las muestras de vídeo

	MUESTRAS	DESCRIPCIÓN
HD	HD-DEPORTES-1.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Sin ruido
	HD-DEPORTES-2.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas con ruido: 31-54, 294-314
	HD-DEPORTES-3.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Ruido en todas las tramas
	HD-NOTICIAS-1.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Sin ruido
	HD-NOTICIAS-2.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas con ruido:1-27, 243-276
	HD-NOTICIAS-3.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Ruido en todas las tramas
	HD-PELICULAS-1.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas sin ruido
	HD-PELICULAS-2.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l

		Tramas con ruido: 64-112, 151-192, 232-276
	HD-PELICULAS-3.0.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 16:9 y resolución HD de 1920p x 1080l Ruido en todas las tramas
SD	SD-DEPORTES-1.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas sin ruido
	SD-DEPORTES-2.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas con ruido: 244-261, 300-315
	SD-DEPORTES-3.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Ruido en todas las tramas
	SD-NOTICIAS-1.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas sin ruido
	SD-NOTICIAS-2.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas con ruido: 1-45, 200-220
	SD-NOTICIAS-3.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Ruido en todas las tramas
	SD-PELICULAS-1.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas sin ruido
	SD-PELICULAS-2.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Tramas con ruido: 25-51, 60-112, 186-247, 264-300
	SD-PELICULAS-3.avi	Estándar HD de 30frames/segundo, relación de aspecto SD de 4:3 y resolución HD de 1920p x 1080l Ruido en todas las tramas

La detección se realizó a través de la observación, ubicando las tramas con ruido de cada segundo y aplicando un corrimiento de trama por trama para su localización, después se aplicó en un solo programa lo que es la TDW y el cálculo de energía y desviación estándar, generando con este primer código una función. Se implementó otro código para el despliegue de los gráficos y así poder comparar el efecto del ruido en el video. Se definió un umbral para la corrección de ruido. Siguiendo el objetivo que mediante pruebas de estadístico y aplicando diferentes wavelets se obtengan resultados para detección eficiente de ruido

A grandes rasgos en el siguiente diagrama de bloques presenta el desarrollo de la aplicación



Esquema 7.1) Diagrama de bloques filtrado Wavelet

Capítulo VIII

CONCLUSIONES

CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

En los primeros capítulos se observó que con el creciente desarrollo en estándares se requiere de nuevas tecnologías que satisfagan la calidad de servicio en televisión satelital, siendo el mejoramiento de la imagen un importante campo de estudio y la innovación de filtros digitales una base en el campo. En capítulo 6 se adentró a las pruebas con diferentes Transformadas Wavelet aplicadas a los dos estándares de interés SD y HD. Se obtuvo las sub-bandas de una primera resolución con cuatro divisiones, siendo las de banda baja-baja la aproximación, baja-alta los detalles verticales, alta-baja los detalles horizontales y alta-alta los detalles diagonales.

Los estadísticos de energía y desviación estándar en cada una de esta sub-bandas mostraron un patrón con características importantes; cuando el ruido está presente en las tramas de los coeficientes de detalle existe un cambio brusco en los niveles de intensidad, en cuanto a la comparación entre las sub-bandas se puede decir que la variación de los gráficos se hace más presente en los coeficientes de detalle, incluso en los coeficientes de aproximación no se percibe el efecto del ruido.

En cuanto a la comparación de estadísticos la detección del ruido llega a ser más eficiente en el gráfico de energía, en algunas ocasiones no se ve tan claro los cambios de intensidad en la desviación estándar. Al definir el umbral es cuando la desviación estándar tiene más peso.

En cuanto a la comparación en los dos tipos de estándares se puede concluir que la variación de intensidad por el efecto del ruido en SD no es tan claro como con el estándar HD, entendiendo que la aplicación de filtros wavelet sea apropiado para imágenes con mayor cantidad de pixeles y mayor relación de aspecto.

Un punto clave que se encuentra en la literatura wavelet es la resolución espacio-temporal de la imagen y sus aproximaciones. El resultado de codificar en sub-bandas a la imagen fue la división de la energía en cada una de las cuatro bandas mencionadas, se observó durante la prueba que en la sub-banda de aproximación es donde se encontraba la mayor cantidad de energía mientras que en los detalles se encontraba la energía restante y el ruido. Al seguir derivando la TDW en más niveles de Multiresolución es posible notar que en cuanto se tenga una menor resolución sin afectar la imagen se tendrá la imagen más aproximada con sus componentes correspondientes, siendo una ventaja para el estándar HD cuya relación de aspecto del pixel es de 16:9, así se tendrá un rango mayor en cuanto

a más aproximaciones sin distorsionar la imagen. Obteniendo con todo esto la información más relevante de la imagen digital.

En cuanto a la selección del filtro óptimo se espera una diferencia mayor en la intensidad del ruido y la intensidad de los detalles, con ello se buscará la mejor detección y eliminar la mayor cantidad de ruido. El filtro cuyo umbral tiene una diferencia mayor en el gráfico de energía es el filtro implementado con la wavelet Coiflet, con características semi-simétricas y ortogonales. En consideración a la resolución, la banda de aproximación la wavelet con mayor cantidad de energía en su aproximación es la Daubechies, seguida de la Haar, así se refleja que es óptima la selección de estas dos transformadas al obtener la desviación estándar, pues los niveles de intensidad son menores a comparación de las demás wavelets.

Se concluye que la detección de las tramas con ruido aplicando una TDW con la “coiflet5” y la selección del umbral para eliminar la mayor cantidad de ruido con la TDW ”db8” es en composición el filtro óptimo esperado.

Capítulo IX

TRABAJO FUTURO

Debido a la inconsistencia de una detección detallada de ruido y clasificación de pixeles en este nuevo entorno como lo es la Teoría Wavelet [SVM91] se espera un seguimiento en la automatización del filtro wavelet con la aplicación de la wavelet Coiflet y su aplicación en la estructura DTH, pues debido a la cantidad de limitaciones en la mejora de un sistema eficiente para la transmisión de las imágenes digitales y la cantidad de inversión que afectaría el balance de costos si se quisiera modificar los estándares en cuanto a microprocesadores y tecnología implementada en Direct to Home, modificando directamente a los IRD al final de la recepción satelital , se esperaría un sistema después del decodificador-receptor que aprovechará los objetivos del escrito, haciendo eficiente y rentable un proceso de filtrado wavelet.

Así mismo se espera una continua búsqueda en la aplicación del filtro y un método automático empleado a posibles estándares que exploren incluso otros servicios, posiblemente de carácter industrial y de investigación, ya sea la detección de anomalías en imágenes satelitales cuya finalidad se encuentra en la investigación geológica y climática

Capítulo X
APÉNDICE

10.1 APÉNDICE A: COMPARACIÓN DE TRAMAS CON RUIDO SD Y HD POR ESTADÍSTICOS.

ENERGÍA.

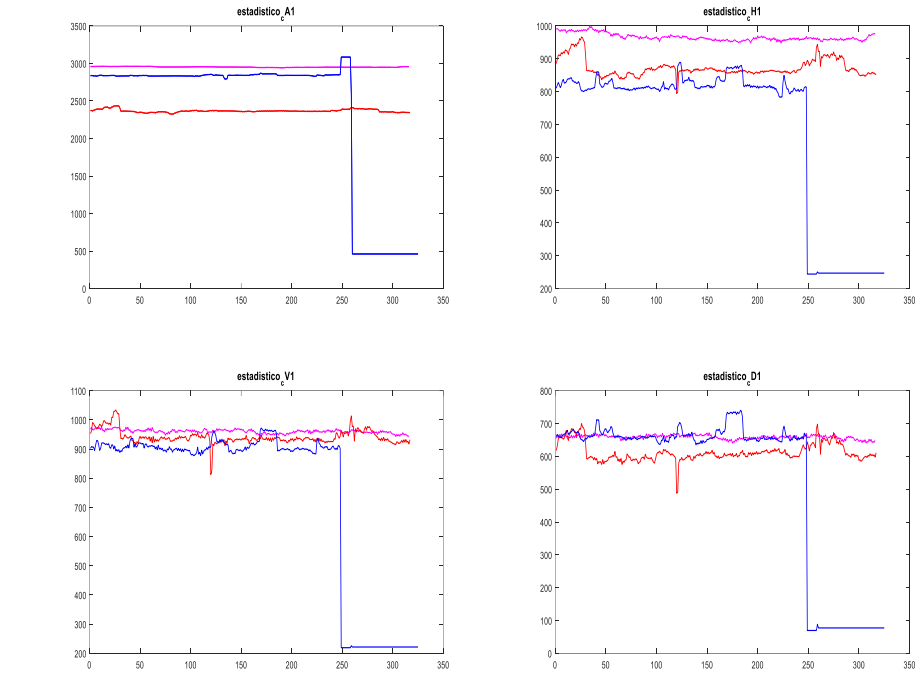


Figura 11.1) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Noticias HD.

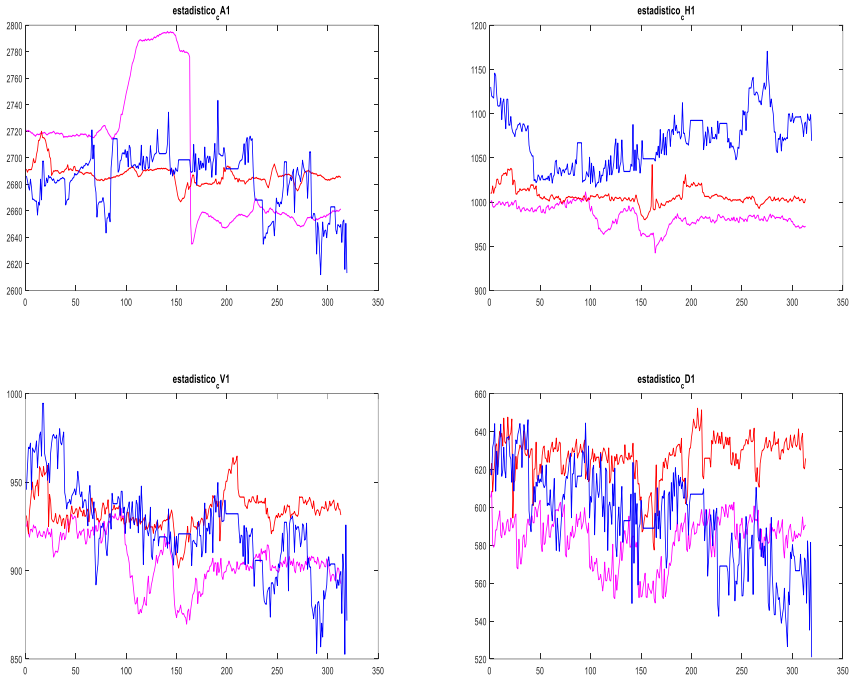


Figura 11.2) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Noticias SD.

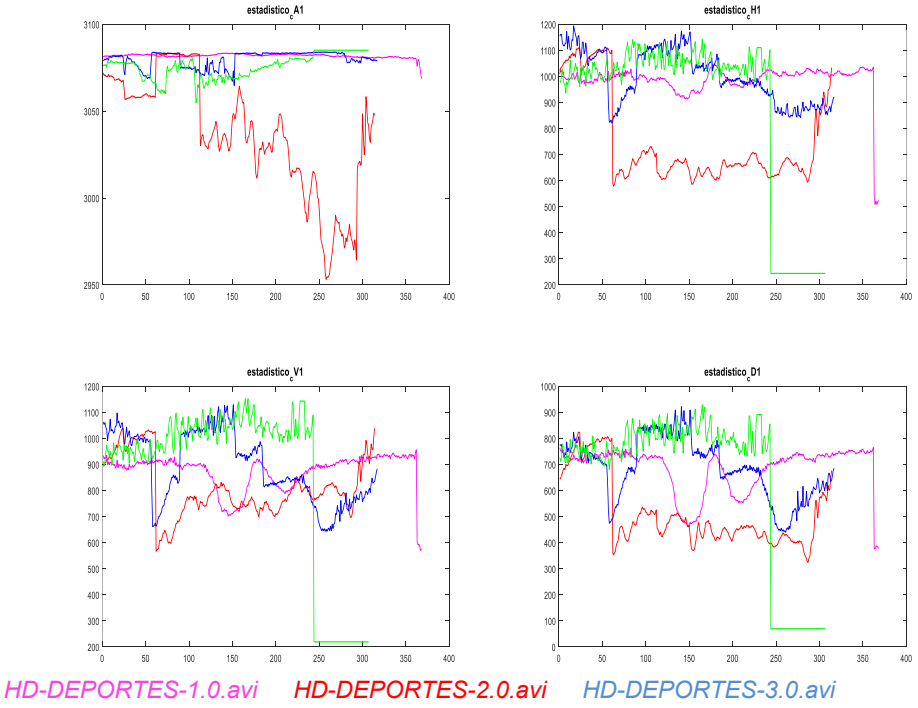
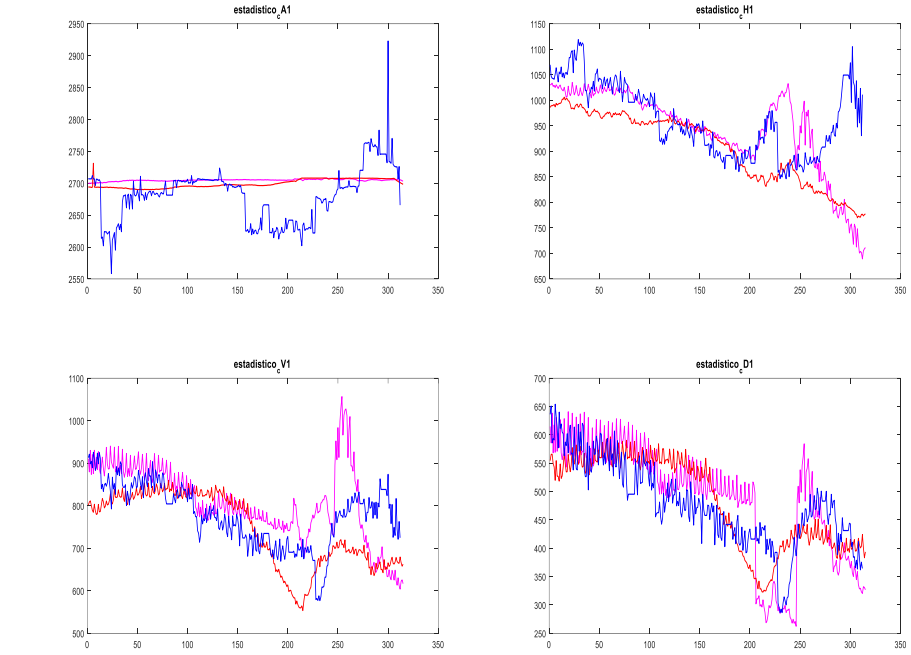


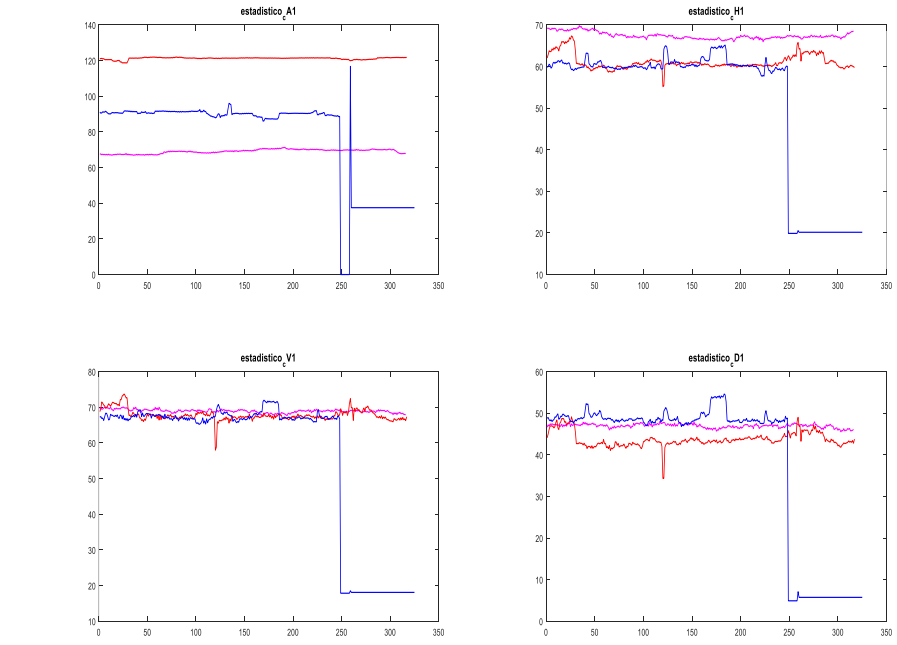
Figura 11.3) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Deportes HD.



SD-DEPORTES-1.0.avi *SD-DEPORTES-2.0.avi* *SD-DEPORTES-3.0.avi*

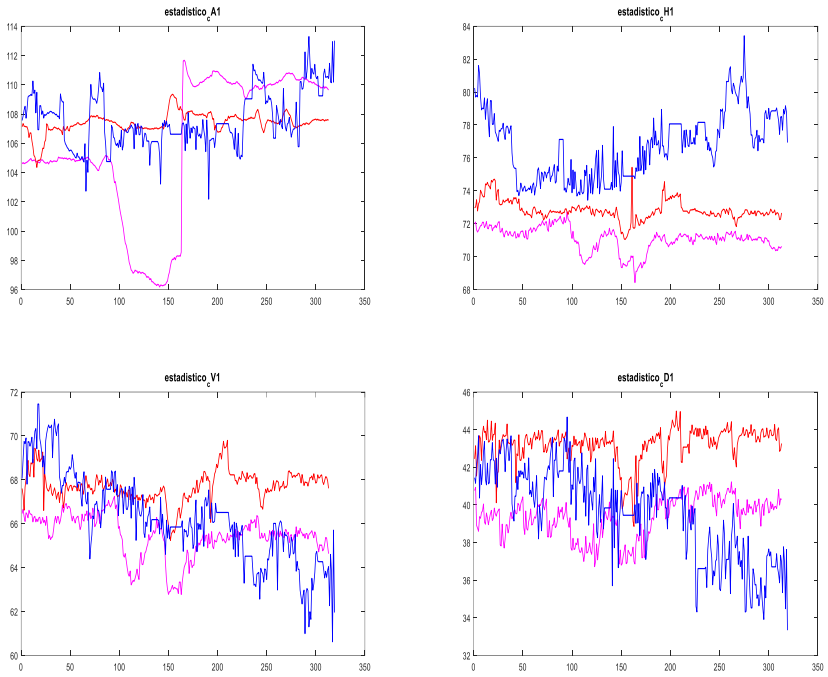
Figura 11.4) Estadístico de energía aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Deportes SD.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR.



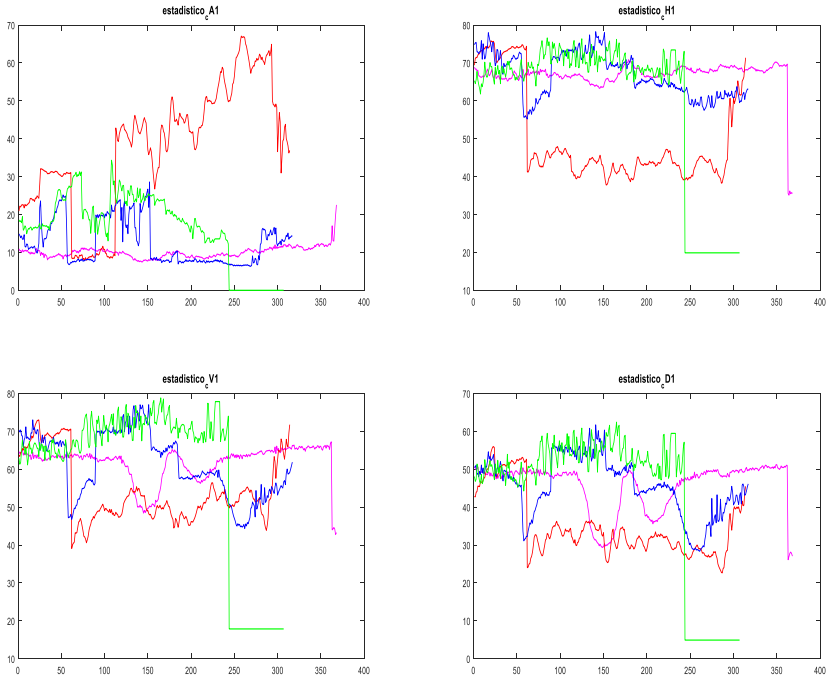
HD-NOTICIAS-1.0.avi *HD-NOTICIAS-2.0.avi* *HD-NOTICIAS-3.0.avi*

Figura 11.5) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Noticias HD.



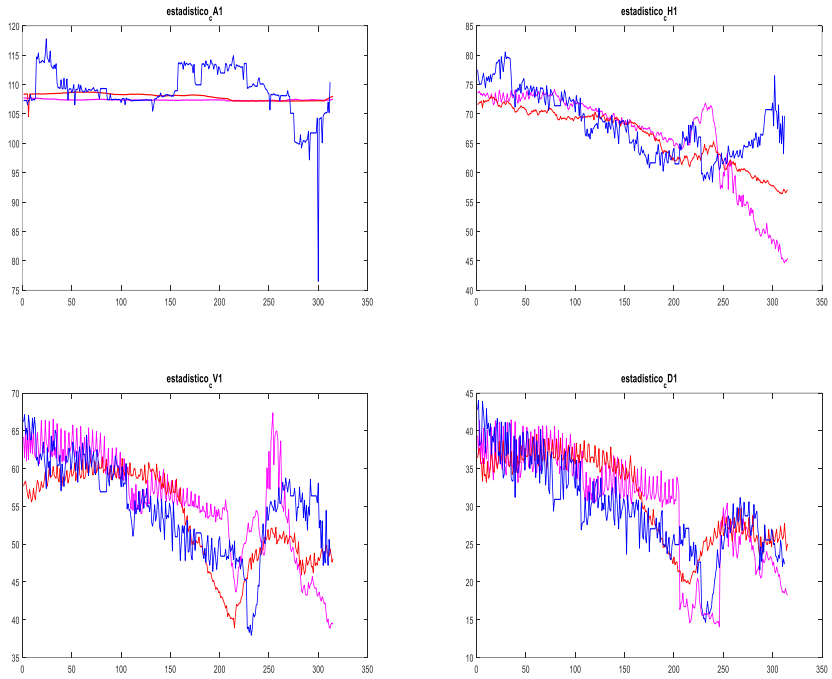
SD-NOTICIAS-1.0.avi *SD-NOTICIAS-2.0.avi* *SD-NOTICIAS-3.0.avi*

Figura 11.6) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Noticias SD.



HD-DEPORTES-1.0.avi *HD-DEPORTES-2.0.avi* *HD-DEPORTES-3.0.avi*

Figura 11.7) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Deportes HD.



SD-NOTICIAS-1.0.avi *SD-NOTICIAS-2.0.avi* *SD-NOTICIAS-3.0.avi*

Figura 11.8) Estadístico de desviación estándar aplicado a los coeficientes wavelet de cada trama de archivo de Noticias SD.

10.2 APÉNDICE B: COMPARACIÓN DE WAVELETS POR ESTADÍSTICOS

ENERGÍA.

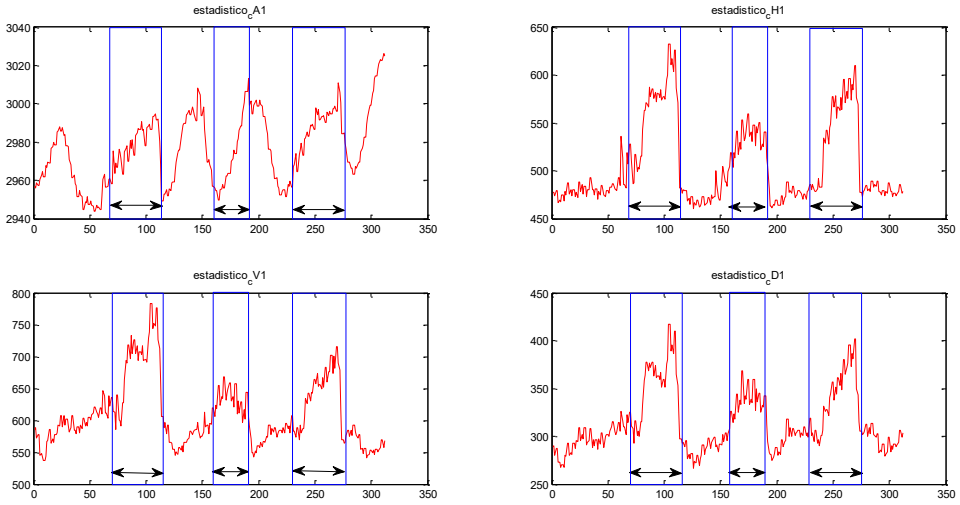


Figura 11.9) Estadístico energía aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Daubechies.

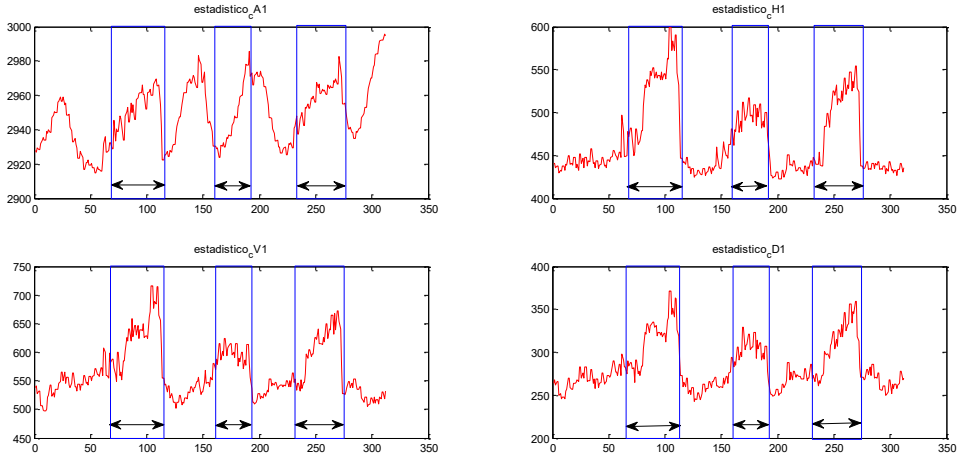


Figura 11.10) Estadístico energía aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Biortogonal.

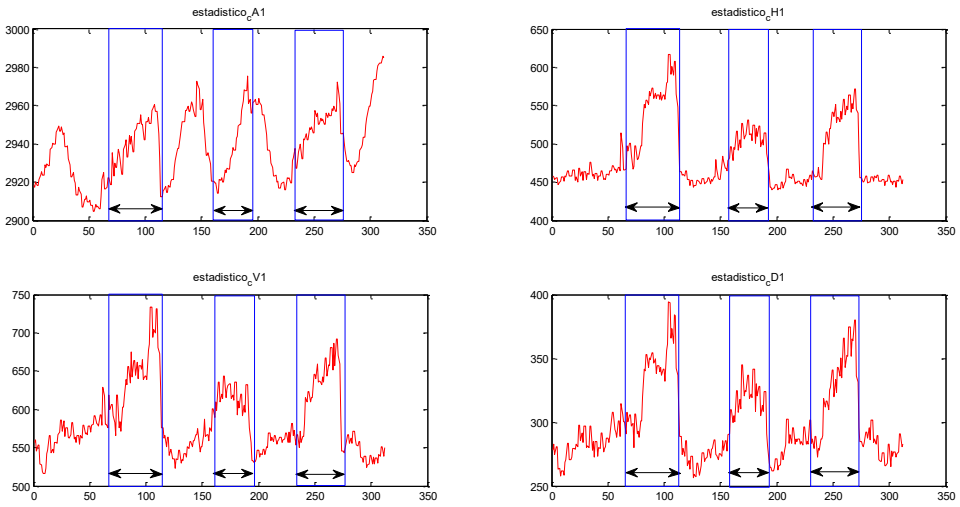


Figura 11.11) Estadístico energía aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Symmlet.

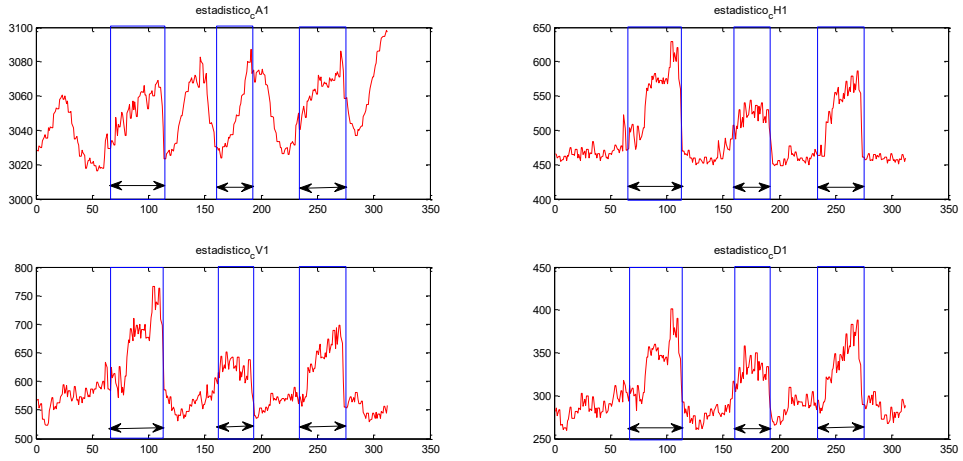


Figura 11.12) Estadístico energía aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Coiflet.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

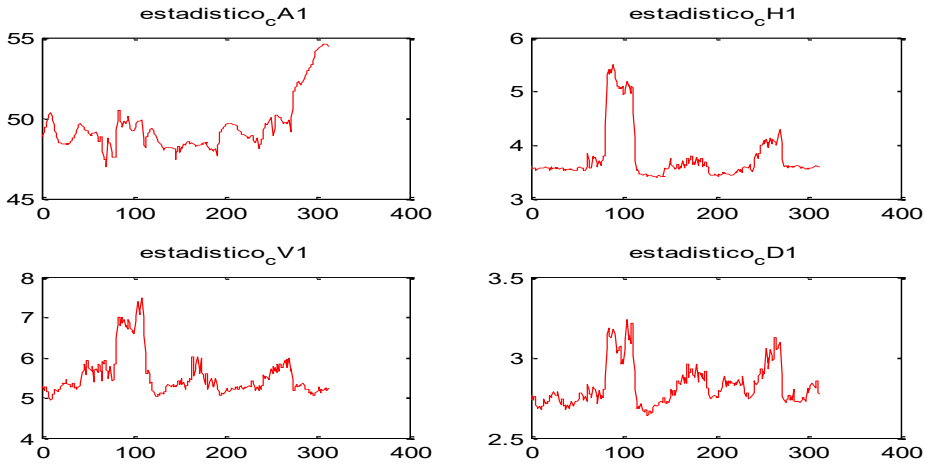


Figura 11.13) Estadístico desviación estándar aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Daubechies.

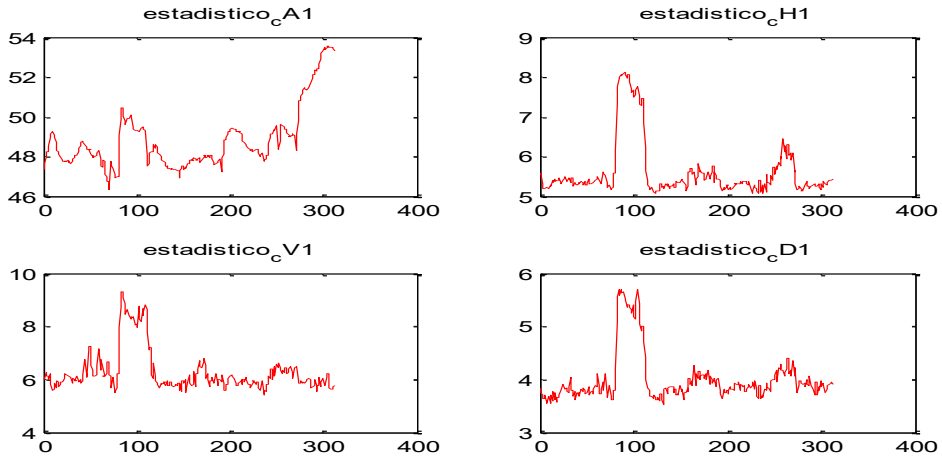


Figura 11.14) Estadístico desviación estándar aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Biortogonal.

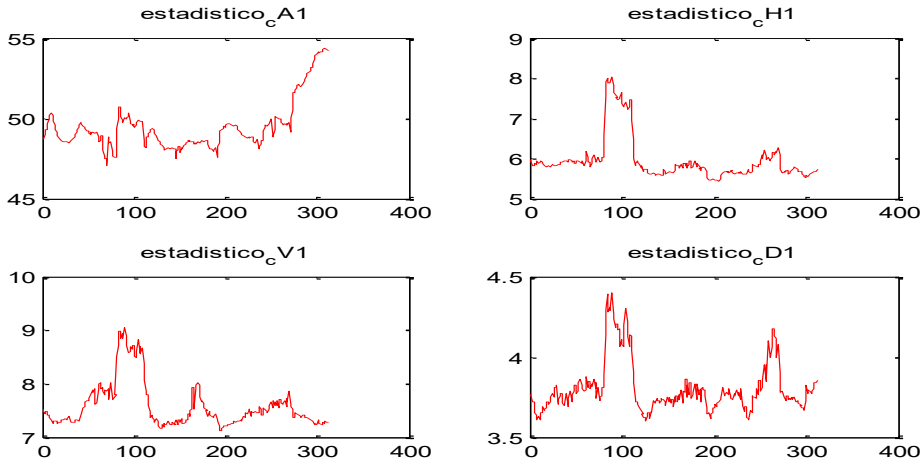


Figura 11.15) Estadístico desviación estándar aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Symmlet.

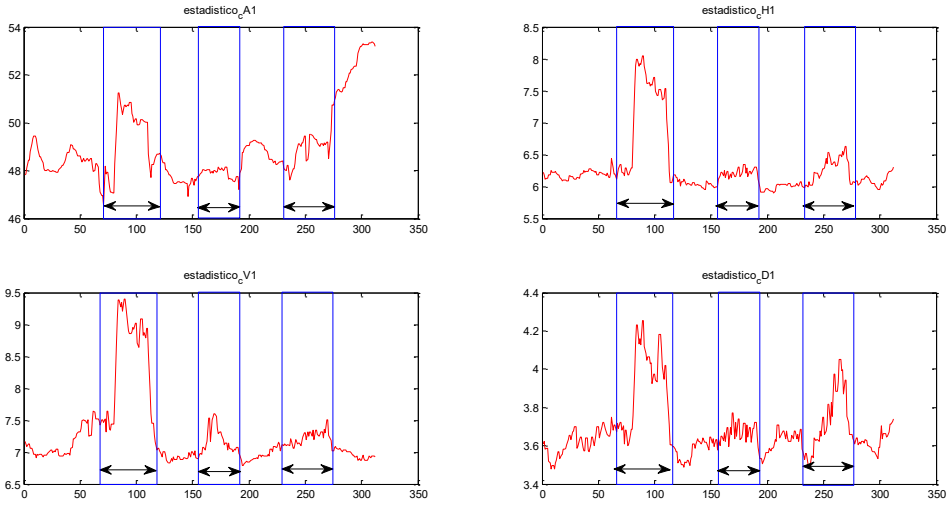


Figura 11.16) Estadístico desviación estándar aplicado a cada trama de imágenes HD utilizando wavelet Cioflet.

10.3 APÉNDICE C: CÓDIGO

Función Lectura.

```
function %Declaración de función
[estadistico_cA1,estadistico_cH1,estadistico_cV1,estadistico_cD1] =
lectura(archivo) %Cuatro variables para cada subbanda

clc
vidObj = VideoReader(archivo); %Declaración de variable tipo video
numFrames = get(vidObj,'NumberOfFrames');%Calcula el número de tramas
for k=1:numFrames
 s(k).cdata = read(vidObj,k); %Declaración de variable tipo estructura
para cada trama
end
 h=0; %Se inicializa variable h

 for j=1:1:numFrames %Se ciclo de lectura de cada trama
   % f11=figure;

   image(s(j).cdata); %Se lee la variable trama
   I=getframe; %Guarda la trama en variable imagen
    %close
   [X,map] = frame2im(I); %Obtiene valores de la matriz imagen y mapa de
color
   X=double(X); %Se convierten a valor doublé para poder trabajar con
ellos


     I2=uint8(X); %Se convierte la variable X en valores de hasta 255
niveles de intensidad

     I3(:,:,2,j)=I2(:,:,2); %Se guarda en variable multidimensional para
ciclo
         h=h+1; %incremento de h

     [cA1,cH1,cV1,cD1] = dwt2(I3(:,:,2,j),'haar'); %Análisis de TDW

     cA1=uint8(cA1); %Se trabaja con los 255 niveles para cada subbanda
     cH1=uint8(cH1);
     cV1=uint8(cV1);
     cD1=uint8(cD1);

    %estadistico_cA1(h)=std2(cA1);% Cálculo de desviación estándar
    %estadistico_cH1(h)=std2(cH1);
    %estadistico_cV1(h)=std2(cV1);
    %estadistico_cD1(h)=std2(cD1);

    estadistico_cA1(h)=sqrt(sum(sum((cA1.*cA1)))); % Cálculo de energía
    estadistico_cH1(h)=sqrt(sum(sum((cH1.*cH1))));
```

```
    estadistico_cV1(h)=sqrt(sum(sum((cV1.*cV1))));
    estadistico_cD1(h)=sqrt(sum(sum((cD1.*cD1))));

 I2=0; Borra el anterior
 end
```

Función despliegue de estadísticos

```
----------------------------------------Se llama la función para cada uno
de los tramos de video-----------------------------------------------------

%[estadistico_cA1_1,estadistico_cH1_1,estadistico_cV1_1,estadistico_cD1_1
] = lectura_desvest('SD-PELICULAS-1.avi')
[estadistico_cA1_2,estadistico_cH1_2,estadistico_cV1_2,estadistico_cD1_2]
= lectura_desvest('SD-PELICULAS-2.avi')
%[estadistico_cA1_3,estadistico_cH1_3,estadistico_cV1_3,estadistico_cD1_3
] = lectura_desvest('SD-PELICULAS-3.avi')
---------------------------------Se despliega cada gráfico de sub-banda
de estadísticos-------------------------------------------------------------

    subplot(2,2,1); plot(estadistico_cA1_1,'m');hold on;
plot(estadistico_cA1_2,'r');hold on; plot(estadistico_cA1_3,'b');%hold
on; plot(estadistico_cA1_4,'g');
    title('estadistico_cA1')
    subplot(2,2,2); plot(estadistico_cH1_1,'m');hold on;
plot(estadistico_cH1_2,'r');hold on; plot(estadistico_cH1_3,'b');%hold
on; plot(estadistico_cH1_4,'g');
    title('estadistico_cH1')
    subplot(2,2,3); plot(estadistico_cV1_1,'m');hold on;
plot(estadistico_cV1_2,'r');hold on; plot(estadistico_cV1_3,'b');%hold
on; plot(estadistico_cV1_4,'g');
    title('estadistico_cV1')
    subplot(2,2,4); plot(estadistico_cD1_1,'m');hold on;
plot(estadistico_cD1_2,'r');hold on; plot(estadistico_cD1_3,'b');%hold
on; plot(estadistico_cD1_4,'g');
    title('estadistico_cD1')
```

Función Clasificador Binario

```
function [bw, XGsal,XG_cerrada] = umbral(archivo) %Declaración de función

clc
vidObj = VideoReader(archivo); %Declaración de variable tipo video
numFrames = get(vidObj,'NumberOfFrames');%Calcula el número de tramas
for k=1:numFrames
 s(k).cdata = read(vidObj,k); %Declaración de variable tipo estructura
para cada trama
end
 h=0; %Se inicializa variable h
for h=1:4
   image(s(h).cdata)%número de la trama que se quiere obtener
 I=getframe
 [XG,map] = frame2im(I)
```

```
  XG=uint8(XG); %Se convierten a valor doublé para poder trabajar con
cada valor
 imB=XG(:,:,2); %Se obtiene una sola banda de color de la imagen y se
guarda en una variable XG
% imR=XG(:,:,1);%puede aplicarse a otras bandas
 %imG=XG(:,:,3);
 Tr1=1; %umbral inferior
 Tr2=114; %umbral superior
 %Tb1=1;
 %Tb2=500;
 %Tg1=1;
 %Tg2=500;

 [m,n,z]=size(XG); %toma dimensiones de la variable imagen
 XGsal=ones(m,n); %Crea nueva variable con mismas medidas de XG
 %T=10;
 for i=1:m
     for j=1:n
         if (imB(i,j)>Tr1 && imB(i,j)<Tr2 ) %condicional del umbral
%&& imR(i,j)>Tb1 && imR(i,j)<Tb2 && imG(i,j)>Tg1 && imG(i,j)<Tg2
             XGsal(i,j)=1; %uno si se encuentra dentro del umbral
         else
             XGsal(i,j)=0; %si se encuentra fuera

         end
     end
 end
 %figure;
%imshow(XGsal);
se=strel('square',11); %función morfológica para transformar pixeles de
acuerdo a la vecindad
XG_cerrada=imclose(XGsal,se);
%t=figure;
%imshow(XG_cerrada);
bw=bwareaopen(XG_cerrada,30); %completa pixeles
%o=figure;
%imshow(bw)
end
 end
```

Función despliegue de Clasificador Binario

```
b=figure;
[XGsal, XG_cerrada, bw] = umbral('SD-NOTICIAS-2.avi') %Se llama la
función para las variables de mejoramiento
figure;
imshow(XGsal); %Se despliegua la salida clasificada binaria del umbral
t=figure;
imshow(XG_cerrada); %Se despliega la salida con función morfológica
o=figure;
imshow(bw) %Se despliega con complemento de pixeles
```

REFERENCIAS

[ADD02] Addison Paul S. (2002). *The Ilustrated Wavelet Transform Handbook Introducto Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance,* Institute of Physics IOP. London.

[AK09] Adeli H. & Kim H. (2009). *Wavelet-Based Vibration Control of Smart Buildings and Bridges.*

[ALA16] Alasdair McAndrew (2016). An introduction to Digital Image Processing whit MATLAB, segunda edición. CRC, Estados Unidos

[AVY15] Arias A., Veras E. & Yépez C. (2015). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA DISTRIBUCIÓN DE SEÑALES DTH*. LA Referencia. Recuperado de http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31078.

[AYA01] Ayala Giancarlo C. (2001). *Reconocimiento óptimo de caracteres de placas de automóviles empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes*. Trabajo de grado (Ingenieras Electrónico). Facultad de Ingeniería Eléctrica Electrónica, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

[BEN09] Benito David (2009). TV digital, difusión directa al hogar, infraestructura y servicios de nueva generación (DTH). Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico Electricista). Facultad de Estudios Superiores Aragón, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México.

[CAM03] Campos Iris J. (2003). "*Estudio y simulación de un método de compresión de imágenes digitales por medio de una transformada wavelet y de una estructura de árbol de ceros"*. Trabajo de grado (Ingeniero Eléctrico Electrónico). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria.

[CAS02] Castro Rosa M. (2002). "*Análisis de la teoría de ondículas orientadas a las aplicaciones en ingeniería eléctrica: Fundamentos*" Trabajo de grado (Ingeniero Eléctrico). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid.

[CC95] Castro L. R. & Castro S. M. (1995) "*Wavelets y sus Aplicaciones*". Departamento de Matemática – Departamento de Computación. Congreso llevado a cabo en el 1er Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. Bahía Blanca, Argentina.

[CDE97] Collozado S., Díaz J. P. & Echevarría R. (1997). *Tecnología digital y operación de los sistemas de recepción de TV vía satélite en la banda Ku*. Trabajo de grado (Ingeniero en Telecomunicaciones). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria.

[CGS01] Colom R. J., Gadea R., Sebastiá A., Martínez M. & Herrero V. (2001). *Transformada Discreta Wavelet 2-D para procesamiento de video en tiempo real.* Universidad Politécnica de Valencia. Grupo de Arquitecturas Paralelas. Congreso llevado a cabo en la XII Jornadas de Paralelismo. Valencia, España.

[CHU10] Chun-Lin, Liu, (2010). *A Tutorial of the Wavelet Transform*, Febrero 23.

[CZP11] Cuevas E., Zaldívar D. y Pérez M. (2011). *Procesamiento digital de imágenes con MATLAB y Simulink.* Col. Del Valle, Benito Juárez, C.P. 03311 México D. F.: Alfaomega.

[DAV14] David R. Bull (2014). *Communicating Pictures A Course in Image and Video Coding*. AP. Oxford.

[ELB97] Elbert B.R. (1997). *The Satellite Communication Applications Handbook,* MA: Artech House.

[ESC00] Escalera Oralia. (2000). *El surgimiento de la televisión directa al Hogar DTH en México*. Trabajo de grado (Licenciada en Periodismo y comunicación Colectiva). Escuela Nacional de Estudios Profesionales ACATLAN. México.

[FRA01] Frazier Michel W. (2001). *An Introduction to Wavelets through Linear Algebra. Springer*. Estados Unidos de América.

[GAR11] Garduño Javier (2011). *Desarrollo de predictor de pixel adaptativo para la*

obtención de versiones transformadas de mapas de bits de mayor capacidad de compresión entrópica. Trabajo de grado (Licenciatura en Matemáticas Aplicadas y Computación). Facultad de Estudios Superiores Acatlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de Mëxico.stascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Electronica/.../06-Diseno_de_bloques_de.pdf.

[GCS11] Garcés L. M., Cabrera A. J., Sánchez S. & Brox P. (2011). *Diseño de bloques de convolución para procesado de imágenes con FPGA.* RIELAC. Vol. XXX1. p. 56-69. Recuperado de revitascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Electronica/.../06-Diseno_de_bloques_de.pdf.

[GR98] Galadí D. E. & Ribas I. (1998). *Manual práctico de Astronomía con CCD*. OMEGA. Barcelona.

[GW08] Gonzalez R. C. & Woods R. E. (2008). *Digital Image Processing*. Person Prentice-Hall, Tercera edición. tascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Electronica/.../06-Diseno_de_bloques_de.pdf.

[HSU98] Hsu Hawei P. (1998). *Análisis de Fourier*. Naucalpan de Juárez, Edo. De México.

[HUE16] Huerta Jaime (2016). *Pruebas de laboratorio de televisión digital ATSC en redes de frecuencia única.* Trabajo de grado (Maestro en Ingeniería Eléctrica - Telecomunicaciones). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria.

[LES06] Lester Marcelo. (2006). *Introducción a Wavelets: Descomposición de señales*.

Trabajo presentado en clase de Procesamiento Digital

[LS10] Liendo C. G. & Servent P. A. (2010). *Pensar para la producción audiovisual multiplataforma para la Televisión Digital.* Pangea. Vol. 10°. p. 199-213. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4005036.

[MAD06] Madrid Alfonso. (2006). "*Tutorial de tópicos avanzados de procesamiento digital de señal con MATLAB/SIMULINK*". Trabajo de grado (Licenciado en Ingeniería en Eléctrica y Comunicaciones). Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de las Américas Puebla, Cholula.

[MAL09] Mallat S. (2009). "*A Wavelet Tour the Signal Processing the Sparce Way*".

[MAM07] Mauleón J. I. & Mondragón M. V. (2007). *Transmisión progresiva de imágenes codificadas para redes de datos, utilizando la transformada wavelet y su estructura de árbol de ceros.* Trabajo de grado (Ingenieras en Telecomunicaciones). Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria.

[MB02] Maral, G. & M Bousque. (2002). *Satellite Communication System*. 4/e. Willey and Sons.

[MM07] Matos J. & Matos J. L. (2007). *Sistemas DTH, Arquitectura, Estándares y Tecnologías para los servicios Vía Satélites de TV DIGITAL, INTERNET Y HDTV. ALFAOMEGA.* Ciudad de México.

[MMO96] Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G. & Poggi JM. (1996). *Wavelet Toolbox For Use whit MATLAB, User's Guide Version 1*, The MathWorks Inc., 24 Prime Park Way, Natick.

[MV06] Martínez A. & Villagómez E. (2006). "*Descripción del estándar de televisión digital ATSC y análisis de su implementación terrestre en México*". Trabajo de grado (Ingeniero en Telecomunicaciones). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Ciudad Universitaria.

[ORT15] Ortega Mauricio (2015). *MATLAB Aplicado a Telecomunicaciones.* ALFAOMEGA. México.

[OW83] Oppenheim A. V. & Willisky A. S. (1983). *Señales y Sistemas* (Mata Gloria, trad.)

[PAU15] Paul Gardiner (2015). *Frontiers of Video*. Reino Unido

[PER06] Perales Tomás. (2006). Radio y Televisión Digitales, Tecnologías de los sistemas DAB, DVB, IBUC y ATSC. Limusa. México, Ciudad de México.

[RS12] Rodríguez R. & Sossa J. H. (2012). *Procesamiento y análisis digital de imágenes*. ALFAOMEGA. México.

[SAM09] Sampaio Marcelo. (2009). *Digital Television Systems.* Reino Unido, Cambrige. Cambrige.

[SVM91] Spinelli E, Veiga A & Martinez N (1191).*Análisis e Implementación de Estrategias de Multiresolución aplicadas a imágenes.* DInstructivo recuperado, Departamento de Física, Universidad Nacional de la Plata.

[THU01] Thuillaed Marc. (2001). *Wavelet in soft computing*, world scientific, vol 25, Covent Garden, London. Person Prentice-Hall Hispanoamericana. Naucalpan de Juárez, Edo. De México.

UIT-R SNG.1561, *Transmisión digital de televisión de alta definición para periodismo electrónico por satélite y radiodifusión en exteriores,* 2002*.*

UIT-R BT.709-6, *Valores de los parámetros de la norma de TVAD para la producción y el intercambio internacional de programas*, 2015.

UIT-T H.265 High efficiency video coding. 2015.

[UMB98] Umbaugh Scott E. (1998). *Digital image processing and analysis: human and computer visión applications whit CVIPtools*. CRC. Segunda Edición. Estados Unidos

[WAL04] Walkinson John (2004). MPEG *Handbook MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 (MPEG-4 part 10/H.624/AVC included).* Focal Press*,* Segunda Edición. Oxford.

[WEE11] Weeks Michael. (2011). *Digital Signal Procesing Using MATLAB and WAVELETS*. Jones and Bartlett. Estados Unidos de América.

[YAC98] Yaci Jorge L. (1998). *La televisión vía satélite Direct to Home.* Trabajo de grado (Licenciado en Ciencias de la Comunicación). Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Ciudad Universitaria.

[ZAM10] Zamorano Miguel C. (2010). "*ANALISIS DE SEÑALES MEDIANTE STFT Y WAVELET. APLICACIÓN A DEFECTOLOGÍA EN RODAMIENTOS".* Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Universidad Carlos III de Madrid. Leganés.