



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Unidad de Posgrado

**Contribución en las metodologías matemáticas para
mejorar la compresión de video bajo el estándar H.264
AVC**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones con mención en Redes y Servicios de Banda
Ancha

AUTOR

Jorge Luis ROBLES BOKUN

ASESOR

Carlos Alberto SOTELO LÓPEZ

Lima, Perú

2020



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Robles, J. (2020). *Contribución en las metodologías matemáticas para mejorar la compresión de video bajo el estándar H.264 AVC*. Tesis para optar el grado de Magíster en Telecomunicaciones con mención en Redes y Servicios de Banda Ancha. Unidad de Posgrado, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Hoja de metadatos complementarios

Código ORCID (personal) del autor	0000-0002-0402-6166
DNI o pasaporte del autor	40219594
Código ORCID (UNMSM) del asesor	0000-0001-8960-6567
DNI o pasaporte del asesor	07017259
Grupo de investigación UNMSM (autor)	-
Grupos de investigación FIEE UNMSM (asesor)	Procesamiento digital de señales e imágenes (PDSI). Aplicaciones de las tecnologías de información y comunicaciones (ATICS).
Agencia financiadora	-
Ubicación geográfica donde se desarrolló la investigación	Lugar: Perú, Lima, Lima, San Borja, Pirandello. Pirandello, San Borja, San Borja 41, Perú. Coordenadas geográficas: GD (grados decimales) Latitud: -12.0994431 Longitud: -77.0057542 GMS (grados, minutos, segundos) Latitud: S 12° 5' 58.053" Longitud: O 77° 0' 20.634"
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2018 - 2019
Disciplinas OCDE	Ciencias de la información http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.02.02 Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Telecomunicaciones http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05

ÍNDICE

Índice general.....	ii
Lista de cuadros.....	iv
Lista de figuras	v
Resumen	vi
Abstract	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Situación Problemática	2
1.2 Formulación del Problema	2
1.3 Justificación Teórica	3
1.4 Justificación Práctica	3
1.5 Objetivos de la Investigación	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes de la investigación.....	5
2.2 Bases Teóricas.....	10
2.3 Marco Filosófico o epistemológico de la investigación.....	15
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	
3.1 Hipótesis General.....	22
3.2 Hipótesis Específicas.....	22
3.3 Variables.....	22
3.4 Operacionalización de las Variables.....	24
3.5 Tipo y Diseño de Investigación	25
3.6 Unidad de Análisis.....	25
3.7 Población.....	25
3.8 Tamaño de Muestra	26
3.9 Selección de Muestra	26
3.10 Técnica de Recolección de Datos.....	26
3.11 Análisis de la Información.....	27

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1 Análisis de Interpretación de la Información.....	28
4.2 Comprobación de hipótesis	47
4.3 Presentación de resultados	48
CAPÍTULO 5. IMPACTO.....	50
5.1 Aplicaciones	50
5.1.1 Aplicaciones novedosas del códec H.264 y H.265	51
5.1.2 Otras aplicaciones del estándar de video	52
5.1.2.1 Equipos de reproducción en vivo y video en tiempo real.....	52
5.1.2.2 Sistemas de Video Vigilancia con cámaras IP DOMO MPEG-4.....	54
5.2. Costos de implementación de la propuesta.....	58
5.3 Cronograma de Actividades	59
5.3.1 Hoja de ruta (actividades)	59
5.3.2 Diagrama de Gantt	60
5.4 Logros de la investigación.....	61
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS.....	65

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1.</i> Cuadro comparativo entre la compresión H.264 y H.265 (HEVC).....	14
<i>Cuadro 2.</i> Símbolo vs Frecuencia.....	16
<i>Cuadro 3.</i> Resultados del árbol binario ejemplo.....	17
<i>Cuadro 4.</i> Matriz de hipótesis y variables.....	23
<i>Cuadro 5.</i> Matriz de Operacionalización.....	24
<i>Cuadro 6.</i> Matriz de Análisis de Datos.....	27
<i>Cuadro 7.</i> Codificación VLC para la tesis parte-1.....	33
<i>Cuadro 8.</i> Codificación VLC para la tesis parte-2.....	34
<i>Cuadro 9.</i> Codificación VLC para la tesis parte-3.....	35
<i>Cuadro 10.</i> Tabla comparativa entre los estándares de video según los resultados obtenidos (de resultados).....	48
<i>Cuadro 11.</i> Configuración de la Tarjeta estándar de video H.264 MAX.....	53
<i>Cuadro 12.</i> Presupuesto.....	58
<i>Cuadro 13.</i> Hoja de actividades de la Tesis.....	59

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> ASO (Arbitrary Slice Order).....	13
<i>Figura 2.</i> Evolución Histórica de los Estándares de Video.....	14
<i>Figura 3.</i> Esquema de árbol binario para el ejemplo.....	17
<i>Figura 4.</i> Diagrama de flujo del algoritmo de descodificación para estándar H.264 y H.265..	18
<i>Figura 5.</i> WFM (waveform monitor) con vectoscopio mostrando barras estándar de color EBU.....	20
<i>Figura 6.</i> Mapa del mundo con las normas de televisión.....	21
<i>Figura 7.</i> Muestra de una secuencia de 3 imágenes bajo el estándar H.264.....	26
<i>Figura 8.</i> Ejemplo de experiencia en laboratorio usando un DVD formato MPEG4-H.264 y una Tarjeta Electrónica DSP.....	27
<i>Figura 9.</i> Suavizado de imágenes.....	29
<i>Figura 10.</i> Histograma de la frecuencia de repitencia del valor del píxel.....	30
<i>Figura 11.</i> Método del Pescado o Árbol horizontal VLC.....	34
<i>Figura 12.</i> Imagen comprimida a colores.....	39
<i>Figura 13.</i> Técnica DCT – Matriz 1.....	39
<i>Figura 14.</i> Técnica DCT – Matriz 2.....	40
<i>Figura 15.</i> Técnica DCT – Matriz 3.....	40
<i>Figura 16.</i> Diagrama de bloques de la DCT y de la IDCT.....	41
<i>Figura 17.</i> Diagrama de bloques de compresión de video en un sistema digital de TV con las metodologías matemáticas.....	42
<i>Figura 18.</i> Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante filtro (Parte1).....	43
<i>Figura 19.</i> Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante filtro (Parte2).....	44
<i>Figura 20.</i> Nivel de Potencia y jitter del estándar H.264 (MPEG-4 parte10).....	45
<i>Figura 21.</i> Comparación del retardo o jitter de tiempo entre MPEG-2 vs MPEG-4 parte10...	46
<i>Figura 22.</i> Consola de video juego Hauppauge 2016.....	51
<i>Figura 23.</i> Video Juego.....	52
<i>Figura 24.</i> Tarjeta de Aceleración de Codificación de video H.264 MAX.....	52
<i>Figura 25.</i> Video Vigilancia – Parte1.....	54
<i>Figura 26.</i> Video Vigilancia – Parte2.....	55
<i>Figura 27.</i> Video Vigilancia – Parte3.....	55
<i>Figura 28.</i> Configuración del estándar H.264 AVC o MPEG-4 en la aplicación de las cámaras DOMO IP – Parte1.....	56
<i>Figura 29.</i> Configuración del estándar H.264 AVC o MPEG-4 en la aplicación – Parte2.....	56
<i>Figura 30.</i> Configuración del estándar H.264 AVC o MPEG-4 en la aplicación – Parte3.....	57
<i>Figura 31.</i> Diagrama de Gantt por trimestres	60

RESUMEN

En los últimos años el avance tecnológico, en lo que se refiere a la transmisión de video en alta definición con gran resolución, viene en auge, pero mostrando una baja calidad de video en una serie de cuadros por segundo utilizando más ancho de banda y a la vez menos frecuencia de transmisión.

Esto quiere decir mayor pérdida de información por dato enviado, y otorgando prioridad a los objetos en movimiento e imágenes en 3D pero olvidando la calidad y fidelidad de la misma.

Esta necesidad motivó el desarrollo de esta investigación para encontrar una solución equitativa y progresiva a la baja calidad de video, pero basado en el análisis de los estándares que dieron origen a la compresión.

Pues este estudio conlleva a realizar un tratamiento de las principales técnicas de procesamiento de información dentro de los estándares de compresión MPEG-4 y H.264, con una investigación exhaustiva utilizando gráficas, diagramas y esquemas que justifiquen los resultados obtenidos, así como también simulaciones del rendimiento mediante el manejo de un software de computación científica.

PALABRAS CLAVE: Códec de video, transmisión de datos, sistema de video vigilancia, compresión MPEG-2, MPEG-4, x.263, H.264.

ABSTRACT

In recent years, technological progress, in terms of high definition video transmission with high resolution, is booming but showing low video quality in a series of frames per second using more bandwidth and at the same time less transmission frequency.

This means greater loss of information by data sent, and giving priority to moving objects and 3D images but forgetting the quality and fidelity of it.

This need motivated the development of this research to find an equitable and progressive solution to low video quality, but based on the analysis of the standards that gave rise to compression.

Well, this study leads to a treatment of the main techniques of information processing within the MPEG-4 and H.264 compression standards, with an exhaustive investigation using graphs, diagrams and schemes that justify the results obtained, as well as simulations of performance through the management of scientific computing software.

KEYWORDS: Video codec's, data transmission, video surveillance system, compression MPEG-2, MPEG-4, x.263, H.264.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Por muchos años la televisión fue una necesidad del ser humano y por esto viene evolucionado con el avance de la tecnología debido a ello la preocupación por mejorar la calidad de imagen. En este estudio se evalúa la transmisión de contenido usando codec's de video dándole importancia al H.264 pero con un agregado que es el H.265 (HEVC) aumentando su rendimiento con más velocidad de transmisión, menor uso de ancho de banda y menor tiempo de retardo entre imágenes utilizando algoritmos matemáticos como la función de la Transformada Discreta del Coseno y técnicas que nos ayudan a conseguir esta necesidad respetando siempre los estándares básicos.

Considerando que se debe mejorar la calidad de señal con menos pérdidas para este trabajo se realiza un tratamiento y análisis de los algoritmos matemáticos ya existentes contribuyendo así con las metodologías matemáticas que todos conocemos, unos ejemplos de algoritmos podrían ser: la DCT, VLC (codificación de longitud variable), CABAC (codificación adaptativa binaria al contexto), el algoritmo de Huffman, etc.

Al final del estudio se muestran los resultados y valores reales del avance utilizando algún software o simulador, para la presente investigación es el MatLab R2018a.

1.1 Situación problemática:

En los últimos años el avance tecnológico, en lo que se refiere a la transmisión de video con gran resolución, viene en auge, pero mostrando una baja calidad de video en una serie de cuadros por segundo utilizando más ancho de banda y a la vez menos frecuencia de información, es decir mayor pérdida de información por dato enviado, otorgando prioridad a los objetos en movimiento e imágenes en 3D pero olvidando la fidelidad y calidad, sobre todo en la transmisión en vivo.

Si se sigue con estas falencias a corto plazo, llegarán más dificultades para migrar a otras tecnologías de estándar de video de mayor jerarquía y nivel, que posean una alta compresión de video, mejor calidad de imágenes con la mínima cantidad de pérdida de información y fiabilidad de la misma.

Para mejorar la calidad de imagen con menos pérdidas, en esta tesis se analiza e investiga las técnicas de codificación, contribuyendo así con las metodologías matemáticas ya conocidas, algunos ejemplos de estas técnicas son: la DCT (la función de la transformada discreta del coseno), VLC (la codificación de longitud variable), RLE (codificación de longitud de cadenas), CABAC (la codificación adaptativo binaria al contexto), entre las más importantes.

1.2 Formulación del Problema:

Según la evaluación del planteamiento del problema, se tiene que la dificultad principal, es la calidad de video y compresión de información, entonces habría que preguntar: ¿cómo mejorar la calidad y compresión de información?

De esta pregunta se desprende otras interrogantes para estudiar y solucionar, como: ¿cuál es la solución a la calidad de imágenes?, ¿cómo disminuir el retardo o jitter?, ¿cómo acrecentar la capacidad?, ¿qué se debe hacer para tener una mayor fiabilidad con la información?

Con esta formulación a la problemática de la calidad de video y compresión de información, nos damos una idea precisa de los objetivos, soluciones y conclusiones que se tiene que llegar.

Problemas específicos:

- a) ¿Se puede estudiar la codificación por transformada a fin de mejorar la calidad de imágenes?
- b) ¿Es posible comparar los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión para disminuir el retardo o jitter?
- c) ¿Es factible analizar la codificación VLC para aumentar la capacidad de data?
- d) ¿Es realizable evaluar la implementación de filtros para obtener mayor fiabilidad de la información?

1.3 Justificación Teórica

Al profundizar el estudio de las metodologías de compresión, se logrará incrementar la compresión de video.

El buen tratamiento de las técnicas matemáticas seleccionadas, servirán para aumentar la calidad de imágenes.

Con la solución a la problemática de compresión, se obtendrán alternativas tecnológicas robustas.

La implementación y análisis de la codificación por transformada, para el incremento de resolución y velocidad de transmisión, logrará mayor calidad y nitidez de las imágenes y objetos en movimiento.

La introducción de filtros pasa banda, y pasa bajos con mayor fiabilidad de información, beneficiará la disminución de pérdidas de información y ofrecerá seguridad al usuario.

1.4 Justificación Práctica

Al lograr mejorar la compresión de datos con calidad de imágenes y objetos en movimiento y mínima pérdida de información se conseguirá optimizar los servicios de transmisión de datos y aplicaciones como: los sistemas de video-vigilancia, de televisión en tiempo real, tarjetas de codificación de video, consolas de video juegos, y similares.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

Realizar una investigación de las metodologías matemáticas para mejorar la compresión de información.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Estudiar la codificación por transformada a fin de mejorar la calidad de imágenes.
- b) Comparar los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión para disminuir el retardo o jitter.
- c) Analizar la codificación VLC para aumentar la capacidad de data.
- d) Evaluar la implementación de filtros para obtener mayor fiabilidad de la información.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En la tesis doctoral presentada por el Mg. en Telecomunicación Fernando Pescador del Oso de la Universidad Politécnica de Madrid, *“Contribución a las Metodologías de Optimización de Tiempo de Ejecución de Algoritmos de Descodificación de Video sobre DSPs”*, del 2011, el cual su objetivo principal es descubrir una metodología para mejorar la velocidad en tiempo de respuesta en los codificadores y decodificadores basados en DSPs (Procesamiento Digital de Señales) pero para lograrlo definió 2 objetivos:

a) Realización de implementaciones con decodificadores compatibles con los estándares MPEG-2, MPEG-4 y H.264 trabajando en tiempo real para resolución de definición estándar (Standard Definition Resolution), utilizando estos decodificadores se han encontrado errores de optimización específicos que no se hallaron con otros de resolución menor (Pescador, 2011).

b) Elaboración de un sistema de decodificación de video IP (STP-IP) que admitió realizar pruebas de emisión de televisión en tiempo real, se logró ello ejecutando muchas tareas como: revisión de la decodificación y sincronización de (audio y video), análisis de tramas: MPEG-2, MPEG-4 y H.264 AVC, se integró todas estas tareas bajo un sistema completo final, y se obtuvo soluciones metodológicas al problema principal.

La utilización de procesadores digitales de señales como soporte consistió en estar a la delantera en los cambios tecnológicos de video digital dentro de los estándares básicos.

Luego de que se realizaron muchas pruebas y análisis exhaustivo de investigación, se obtuvieron variadas técnicas y soluciones para reducir el tiempo de ejecución de los algoritmos de decodificación de video sobre DSPs en tiempo real.

Los aportes que hicieron fueron los siguientes:

- Se empleó el acceso directo a memoria y doble buffer que permite procesar un paquete en memoria mientras otro es transferido es decir realiza 2 funciones simultáneamente (Pescador, 2011).
- Se analizó las prestaciones y funciones que tiene un codificador MPEG-4 en lo que respecta al reparto de memoria interna, memoria caché y de propósito general.
- Simplificación del cálculo del filtro anti bloques utilizando los diferentes tipos de filtrado (Pescador, 2011).

El Mg. Mario Mastriani expuso en la Universidad General de Sarmiento, el año 2013 la tesis doctoral: *“Supercompresión de Video y Aplicaciones”* donde planteó la problemática a la super resolución de imágenes para lo cual implementando un catalizador algorítmico anterior al encoder digital utilizó la optimización de los algoritmos de supercompresión de video así incrementó severamente la tasa de compresión sin incluir pérdidas adicionales, jitter ni latencia por lo que uso 2 técnicas de filtrado como son: la de compressed sensing (detección comprimida) y wavelets (transformada de wavelet).

En su estudio se ejecutaron 2 pruebas para mejorar la tecnología:

- Por 1era vez se transmitió señales con resolución similar a 1080i y 720i con 6 segmentos con estándar ISDB-Tb utilizando transmisión y codificación de 1080p-3D.

Los resultados obtenidos para Mastriani (2013) fueron:

- a) Mayor calidad visual de recuperación.
 - b) Reducción del BER (error de bit), el cual es 4:1 al ya generado H.264 códec coincidiendo con la minimización de ancho de banda.
 - c) El catalizador/des-catalizador no tiene relevancia sobre el middleware de interactividad Ginga.
- La transmisión y codificación (4Kp-3D y 8Kp-3D) en una red óptica, teniendo una transmisión digital UHDTV (3840px2160px2) a 120-600(fps) en el cual las conclusiones fueron:

- a) Se confirmó que el encoder propuesto no genera tiempo de retardo, jitter o latencia en comparación con MPEG-4, H.264 y los demás estándares.
- b) Se probó que la latencia generada por la televisión digital frente a un sistema análogo responde a 2 factores primordialmente: uno son los elementos de codificación, modulación y transmisión del sistema otro es el tratamiento inter-cuadro del códec en uso (Mastriani, 2013).

El Ing. David Aledo Ortega de la Universidad Politécnica de Madrid presentó la tesis de maestría “*Compresión de Imágenes Optimizada al Consumo de Redes Inalámbricas*” en el 2016 con la colaboración del R. D Dony and S. Haykin, in *Proceedings of the IEEE on Neuronal Network Approaches to Image Compression*, Vol. 83, Num. 2, pp. 288-303, en donde su objetivo principal es la reducción y disminución del consumo de energía de las redes inalámbricas mediante la compresión de imágenes empleando para ello la técnica de las redes neuronales algorítmicas artificiales.

Después de realizar diversas pruebas y de usar esta herramienta tecnológica se llegó a las siguientes conclusiones:

- Luego de las pruebas realizadas se deriva que los niveles de consumo en la etapa de procesamiento son muy pequeños en comparación a los donde no se procesa (tiempos estáticos), se tendría que reducir estos consumos de energía estáticos analizando, evaluando y observando los equipos y máquinas de control con sus señales de habilitación (enable signal).
- Con las modificaciones propuestas en los algoritmos matemáticos empleando la DCT (Transformada Discreta del Coseno) se logró optimizar un compresor de bajo consumo y eficiente para las redes inalámbricas.
- Se encontró una mejora fundamental para la 1era etapa de compresión (redes neuronales exteriores).
- Se determinó que para las simulaciones de las redes neuronales aplicadas en la compresión de imágenes el estudio no es viable.
- Hace falta continuar con esta línea de investigación en lo que respecta a la red neuronal central utilizando la DCT u otras técnicas ya descritas en la presente tesis.

El Ing. Aleix Alcácer de la Universidad de Jaume I, sustentó la tesis de maestría “*Algunas Técnicas Matemáticas en la Compresión de Datos y Aplicación en Imágenes Digitales*” en el año 2018, en donde su objetivo principal fue desarrollar un estudio teórico práctico de técnicas matemáticas aplicadas a la compresión de imágenes, concentrándose en el uso de transformadas matemáticas como son la: Transformada de Fourier, y Transformada Discreta del Coseno, realizando diferentes pruebas utilizando un lenguaje de programación en C.

Se llegó a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se desarrolló completamente un interfaz para poder usar el compresor desde un lenguaje de programación (Alcácer, 2018).
- Utilizó para la transformación de datos a la Transformada de Fourier, y a la Transformada Discreta del Coseno mejorando la velocidad de transmisión y descompresión.
- También se comprobó que tanto la DFT (Transformada Discreta de Fourier) como la DCT (Transformada Discreta del Coseno) tienen un alto grado de compactación y compresión en sus coeficientes transformados, es decir con sólo usar el 10%-15% de sus coeficientes se recupera una imagen original casi sin pérdidas.
- En esta investigación nos hemos ocupado sobre todo en la DTC y la DFT pero en un futuro trabajo podemos analizar otra tipo de transformada como es la DWT (Transformada Discreta del Wavelets) (Alcácer, 2018).

El Ing. Sergio López Guerrero de la Universidad de Santo Tomás de Bucaramanga, Colombia, presentó la tesis de maestría “*Evaluación de la transmisión de flujos de video codificados de acuerdo con el estándar H.265/HEVC*” en el año 2018, el cual su objetivo principal fue implementar una metodología, con el fin de evaluar y analizar las técnicas de transmisión de flujos de información codificados de acuerdo al estándar H265/HEVC, identificando cada una de las etapas del proceso, así como conocer las herramientas, tanto para la transmisión, como para la recepción de este tipo de contenidos evaluando la calidad de servicio (QoS).

La investigación terminó con las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Se diseñó una metodología para evaluar la transmisión de datos codificados con el estándar H.265/HEVC sobre redes de comunicaciones, mediante herramientas de simulación y modelado bajo diferentes condiciones de red.
- De esta forma se contribuyó con las necesidades académicas actuales en cuanto a la comprensión de datos en internet y a la transmisión de este tipo de contenido (López, 2018).
- En donde el tamaño y la capacidad de transmisión juegan un papel primordial frente a la satisfacción del usuario final, el cual demanda progresivamente mejor calidad en sus contenidos.

2.2 Bases Teóricas

Los estándares de video MPEG-4, H.264 y H.265 emplean métodos matemáticos de codificación basados principalmente en la DCT (Discrete Cosine Transform) y la DFT (Discrete Fourier Transform), la operación primordial de la DCT es transformar una serie de puntos finitos del dominio espacial al dominio de la frecuencia, se aplica normalmente sobre una matriz de 4x4, 8x8, 16x16 cuya salida es otra de iguales características con coeficientes ordenados donde los que contienen información útil e importante se ubican en la esquina superior izquierda, en donde el coeficiente DC es la posición (0,0) del array (matriz) y representa el promedio aritmético de los 8, 64 o 256 valores.

EL estándar H.264 es llamado también MPEG-4 parte 10 o MPEG-4 AVC (Advanced Video Coding), esta norma se desarrolló en conjunto entre el UIT-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) que ofrece una alta tasa de compresión con menor pérdida de video, obteniendo entre un 40% más compresión comparado con MPEG-2.

Según el estudio de Oliva (2013), *“H.265 posee 25% más compresión y calidad comparándolo con el H.264”*.

En la historia los estándares básicos más utilizados son:

A) MPEG-2: Compresión de audio-video sobre todo de imágenes y sonido comprimido, llegando a obtener un éxito en el mercado, al implementar millones de decodificadores, así duplicó sus ventas y servicios entre 1998 y 2005.

H.262 o MPEG-2 Parte 2 es un estándar de codificación desarrollado conjuntamente entre la UIT-T Video Coding Experts Group (VCEG) y la ISO/IEC MPEG (Moving Picture Experts Group) dentro de la recomendación UIT-T H.262 e ISO/IEC 13818-2 completando así la aprobación de la norma en noviembre de 1994 y publicada por la UIT-T y la ISO/IEC en 1996 (Oliva, 2013).

B) MPEG-4: Compresión de audio y video orientado a objetos en movimiento, entre sus principales características tenemos (Oliva, 2013):

1. Es un gran estándar con capacidades muy específicas para determinadas aplicaciones.
2. Existe una mejora de aproximadamente del 15% con respecto a MPEG-2.
3. Tuvo un retraso de licencia, pero por fin aparece en el año 2003 en adelante.

Estándar de video MPEG-4 parte 10 (H.264 AVC)

Se crearon nuevas técnicas de compresión y codificación de video para mejorar la calidad de imagen, en un principio para aplicaciones como la videoconferencia, pero transcurrido los años se pensó en mejorar la capacidad de la TDT (Televisión Digital Terrestre).

La ventaja de este estándar es que tiene alta tasa de compresión-codificación de audio (AAC, parte 10) y video (MPEG-4 parte 10).

H.264 nos ofrece una alta tasa de compresión de audio y video con la mínima pérdida de información posible con mayor calidad de video que su antecesor, con una compresión entre un 40% a 60% más que el estándar MPEG-2.

Según el autor Mastriani (2013) las nuevas características son:

- a) Utiliza objetos en movimiento en tiempo real como imágenes sintéticas.
- b) Permite la manipulación de objetos como imágenes en una escena.
- c) Las escenas poseen 2 elementos básicos: el audio y video que son codificados, comprimidos en forma independiente.
- d) Existe la interacción entre usuario-objeto, usuario-imagen en la escena.
- e) Tiene un mejor algoritmo que incrementa la robustez y calidad de video.
- f) Su controlador de CRC (Código de Detección de Error) es superior que el anterior bit por bit.
- g) Hay una mejora evidente en las aplicaciones como: la TDT (Televisión Digital Terrestre), la televisión UHDTV, la TV 3D con objetos, el DVB

(Digital Video Broadcasting), DVB-S (satelital), DVB-S2 (satelital versión 2), imágenes de video-vigilancia, etc.

Características novedosas del H.264 (MPEG-4 parte 10) y H.265

Las imágenes están formadas por macro bloques o una tajada (slice), en el formato MPEG-2 y MPEG-4 estos macro bloques deben ser contiguos o aledaños en fila horizontal en cambio en el formato H.265 están ubicados libremente pudiendo unirse arbitrariamente sin cumplir esta norma (Arbitrary Slice Order).

En lo que corresponde a codificación de secuencias entrelazadas existe 2 opciones principalmente:

Una es la codificación de un conjunto de campos, es decir se hace una codificación de una secuencia progresiva (frame mode) y la otra se codifica los campos independientemente (field mode). La 3era opción es el uso de las 2 anteriores donde se toma un par de macro bloques verticales pudiendo codificar una secuencia de macro bloques progresivamente o entrelazados según sea el caso.

A la herramienta o técnica que usamos se le denomina PAFF (Picture Adaptative Frame/Field), este algoritmo permite que las imágenes con más movimiento o velocidad de transmisión se codifiquen en formato campo mientras que las más lentas se realicen en formato cuadro así descartamos la información más redundante sin importancia, esta solución también se aplica en la DCT (Transformada Discreta del Coseno) en el cual enseguida de aplicar la transformada pixel por pixel el resultado más importante se ubica en la esquina superior izquierda descartando los valores menos importantes e irrelevantes a la parte central o inferior derecha de la matriz (Pescador, 2011).

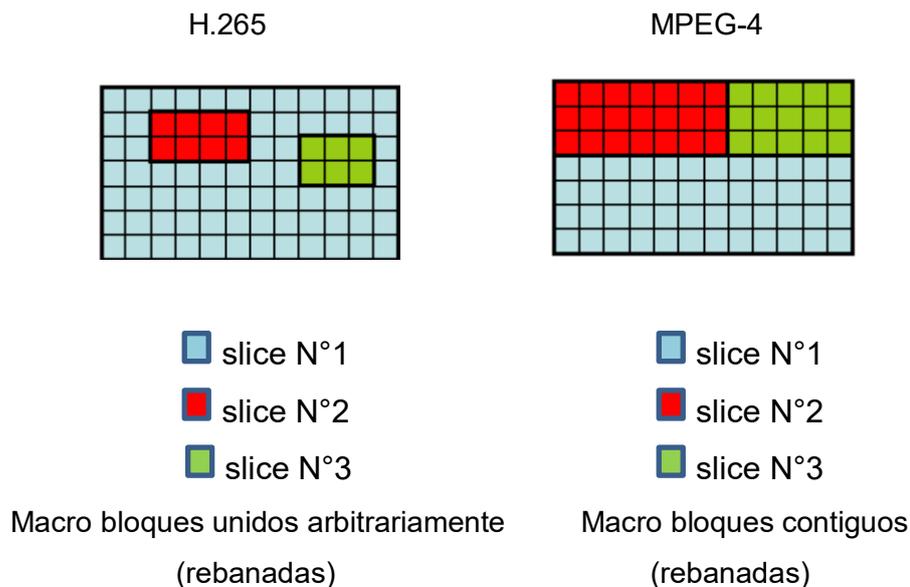


Figura 1. **ASO (Arbitrary Slice Order)**. Fuente. Recuperado de http://oa.upm.es/8712/1/FERNANDO_PESCADOR_DEL_OSQ.pdf

Compresión de video H.264, H.265 mejorado usando la técnica de la DCT

Con el avance de la tecnología se busca transmitir contenido de alta definición mejorado con mayor calidad y menos pérdida, una de las herramientas matemáticas más utilizadas es la DCT (Transformada Discreta del Coseno) que elimina y reduce los datos irrelevantes de una imagen o matriz antes de ser transmitida o almacenada para después recuperar la secuencia de imágenes original en su totalidad.

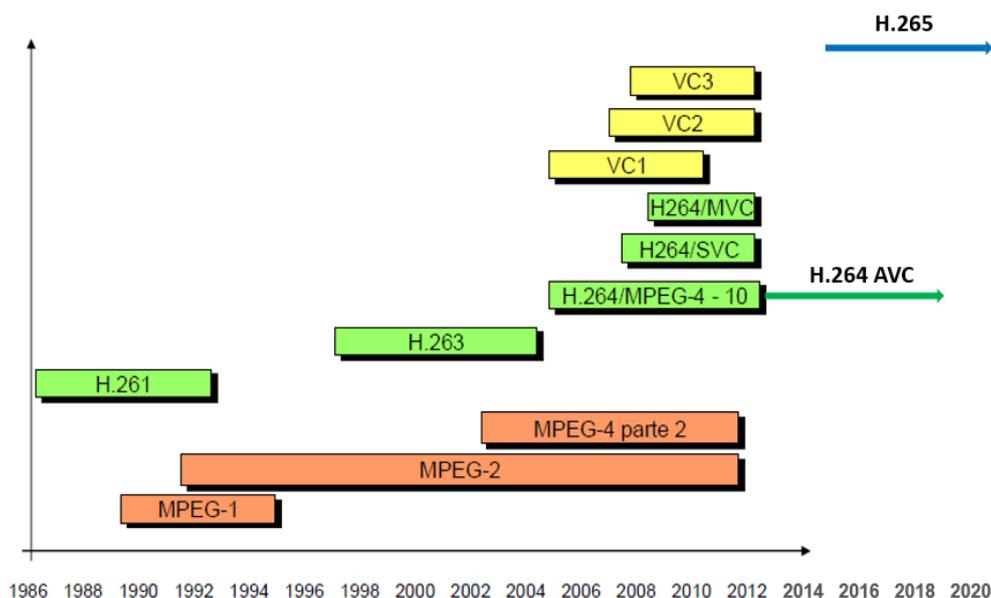
La compresión se realiza para mejorar la eficiencia de la transmisión y almacenamiento de información, cuyas aplicaciones principales están relacionadas con: la TV digital, UHD TV, análisis de las tramas H.264, MPEG-4, H.265, videoconferencia, video streaming, sistemas de video vigilancia, imágenes médicas, TAC, mapas, planos, etc.

La DCT se expresa en una secuencia de puntos finitos, que son el resultado de una sumatoria de señales cosenoidales con diferentes amplitudes y frecuencias para el caso de la DFT (Transformada Discreta de Fourier) es la suma de funciones exponenciales complejas.

Cuadro 1. Cuadro comparativo entre la compresión H.264 y H.265 (HEVC)

Características	H.264 AVC(MPEG-4 part 10)	H.265 (HEVC)
Tamaño del bloque	Usa macrobloques, sub-bloques	3 bloques de codificación(64x64,32x32,16x16,8x8)-bloques de predicción variables
# bitsxpíxel Resolución máxima:	24bitsxpíxel 2048x1536,1920x1920	>24bitsxpíxel 7680x4320(en estudio)
Codificación	Algoritmo del AVC-codificación aritmética con números reales	Algoritmo de codificación aritmética binaria adaptativa al contexto(CABAC)-se agrupan los bits para mejorar velocidad-Probabilidad de bit
Intra-predicciones	33 intra-predicciones	33 intra-predicciones + planar + DC
Vector movimiento	Lista de 2 predictores usando: predictores adyacentes, temporales	Además posee un predictor de vector movimiento delta
Transformadas	Se usa la transformada DCT para diferentes tamaño de bloque 4x4,8x8,16x16 y la DTF(transformada de fourier)	Se usa la transformada DCT para diferentes tamaño de bloque 4x4,8x8,16x16 y32x32, la DST(transformada discreta senoidal) para bloques de 4x4 de luminancia(región intra-codificada)
Filtros-blocking	Filtra bordes de bloques de 16x16, eliminando píxeles redundantes, sin importancia	Filtra bordes de bloques de 8x8, eliminando píxeles redundantes, sin importancia

Fuente. Elaboración propia

Figura 2. Evolución Histórica de los Estándares de Video. Fuente. Recuperado de http://oa.upm.es/8712/1/FERNANDO_PESCADOR_DEL_OSO.pdf

Ventajas de la DCT frente a la DFT

La transformación es independiente de la entrada de datos o información, el algoritmo que se aplica no varía con los datos que ingresan a la matriz, en cambio en la DFT (Transformada Discreta de Fourier) si procede esto. Esta transformada permite concentrar la mayor capacidad de información en pocos coeficientes transformados, produce pocos errores en los límites de los bloques imagen (bordes de las matrices), la minimización de los errores en los bloques de las imágenes permite reducir el efecto bloque en las secuencias de imágenes reconstruidas. Existe una transformada que es más veloz con menos retardo que es la llamada FFT (Transformada Rápida de Fourier). La facultad de interpretar estos coeficientes o valores desde el punto de vista frecuencial nos permite aprovechar al máximo la compresión de video e imágenes.

La DCT es más ventajosa porque con ella podemos recuperar o restaurar la mayor cantidad de información con la mínima cantidad de pérdidas y errores en una imagen o video en tiempo real.

Estos estándares han tenido un gran alcance en relación a las consolas de video juegos como es el caso de la consola Hauppauge, que otorga una solución inteligente en la captura, procesamiento y grabación de video HD en tiempo real teniendo entradas de video componente y un software avanzado que soporta los estándares MPEG-4 parte 10 y H.265 HEVC obteniendo una mayor capacidad de compresión y calidad de imagen en alta definición.

La calidad de video es buena siempre y cuando se utilice la velocidad con tasa de bit (bit rate) adecuada que son de 16Mbps a 32Mbps sobre todo en imágenes de 1080 líneas por cuadro con objetos en movimiento manteniendo así la fidelidad deseada.

2.3 Marco Filosófico o epistemológico de la investigación

Para que los resultados tengan un amplio reconocimiento y credibilidad mediante pruebas de laboratorio se utilizaron algoritmos como:

A.- El VLC (código de longitud variable)

Cuyo principio primordial es atribuir valores de menor compresión a las informaciones o eventos más frecuentes.

Por ejemplo, a la palabra TELECOMUNICACIONES, le asignamos: el símbolo 0 a la letra C, el símbolo 01 a la letra N, símbolo 111 a letra U y así sucesivamente, es decir identificamos con un bit a la letra que se repita más y usamos mayor cantidad de bits a letra que se repita menos.

(Este algoritmo podemos tomar para mejorar la compresión y calidad video del códec H.264, H.265)

B.- El Algoritmo de Huffman

Mediante este árbol binario se puede determinar el código asociado a un símbolo, así como el símbolo asociado a un código.

El árbol de Huffman se genera de la siguiente manera:

Se ordenan las frecuencias o valores de los símbolos en forma descendente, a continuación, se toma los 2 símbolos de menor frecuencia o que se repiten y se unen formando un nuevo nodo, en donde el nuevo nombre será la suma de las frecuencias respetando el orden descendente, etiquetando las 2 ramas del nuevo nodo o árbol con un 0 el de la izquierda y con un 1 el de la derecha.

Ejemplo de árbol binario con letras romanas y sus respectivas frecuencias de aparición.

Cuadro 2. Símbolo vs Frecuencia

Símbolo	Frecuencia
I	0.6
II	3
III	1
IV	2
V	0.8
VI	0.6

Fuente. Elaboración propia para el ejemplo

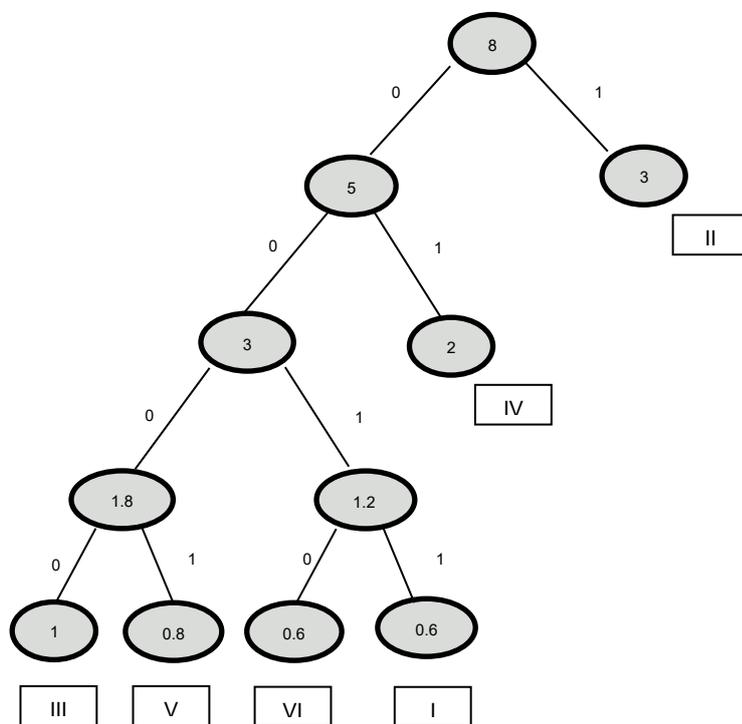


Figura 3. Esquema de árbol binario para el ejemplo. Fuente. Elaboración propia

Cuadro 3. Resultados del árbol binario ejemplo

Símbolo	Valor de Código	Código	Longitud
I	2	0010	4
II	1	1	1
III	0	0000	4
IV	1	01	2
V	1	0001	4
VI	3	0011	4

Fuente. Elaboración propia

C.- Descodificación del algoritmo H.264 y H.265

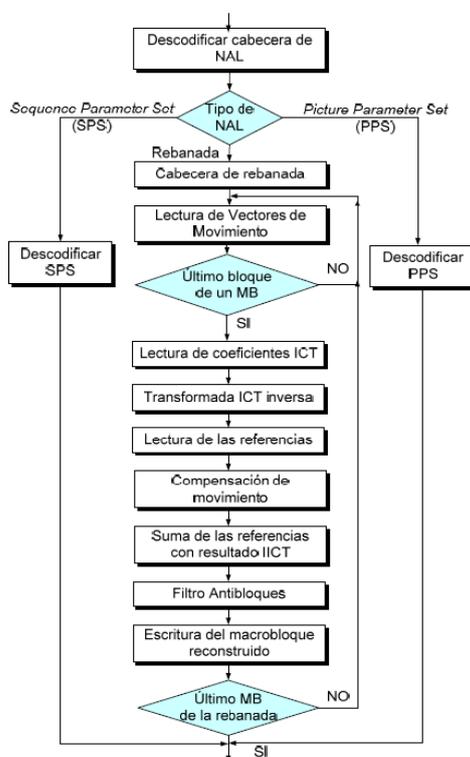


Figura 4. Diagrama de flujo del algoritmo de decodificación para el estándar H.264 y H.265. Fuente. Datos tomados de Mastriani (2013)

En este diagrama de bloques se explica el proceso de decodificación del algoritmo H.264 y H.265 recibiendo la información de las imágenes en MBytes mediante la Transformada Inversa del Coseno al mismo tiempo que recuperamos toda la información que había sido comprimida (Mastriani, 2013).

D.- Los aspectos más importantes sobre televisión para la presente tesis son:

Las Características principales del Video Analógico:

Los elementos principales del video son: la luminancia (luz, blanca y grises), crominancia (los colores R, G, B) y los sincronismos (propios de los niveles de voltaje de las señales mencionadas). El ancho de banda (band width) de la luminancia está en el rango de 5-5.4MHz, la señal de crominancia está modulada en cuadratura por fase (8QAM, 16QAM, 32QAM) en donde a la portadora se le llama subportadora de color con una frecuencia de 4.45Mz en la norma PAL, relacionándose con las demás frecuencias fundamentales que está relacionadas a la frecuencia del nivel de media tensión o red eléctrica de campo, como por ejemplo 60Hz (América) y 50Hz (Europa y Japón).

Las características de la información de la imagen:

La luminancia se encuentra formada por la luz (blanco, negro y grises), la señal crominancia por el color (rojo, verde, azul), y las imágenes, fotos, arrays por ambas.

Las normas de video de color son:

- a) NTSC (National Television Standards Committe).- Empleado en casi toda América (Norte, Central y Sudamérica), Japón y Corea.
- b) PAL.- (Phase Alternating Line).- Utilizado en Europa, África, Asia, Oceanía y algunos países de Sudamérica como: Uruguay, Argentina y Brasil.
- c) SECAM (Color Secuencial con Memoria).- Norma de codificación de color usado en la mayoría de regiones de Francia y Rusia.

Los sincronismos:

Existen 3 tipos de señal de sincronismo:

- A) Lineales u horizontales: Se define como, donde inicia y termina cada línea que forma la imagen de video, clasificándose en sincronismo de: pósito anterior, pósito posterior y pulso de sincronismo.
- B) De Campo o verticales: Realiza un barrido y nos muestran el inicio y final de cada campo de la imagen o secuencia de video.

Los sincronismos verticales se están compuestos por los pulsos de igualación anterior, pulsos de sincronismo, pulsos de igualación posterior y líneas de guarda (donde en la actualidad se inserta el tele-texto y otros servicios).



Figura 5. WFM (waveform monitor) con vectoscopio mostrando barras estándar de color EBU (European Broadcasting Union). Fuente. Recuperado de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo330/2s05/projects/Perez/Algoritmos.htm>

- C) Sincronismo de color: En la norma NTSC (Comité Estándar de Televisión Nacional) y PAL (Línea Alternativa de Fase) se modula una portadora y otra sub-portadora con la data del color, la modulación en cuadratura es la modulación en amplitud (saturación) y en fase (tinte), para contrarrestar, disminuir los errores y distorsiones en el sistema o norma de video PAL cada fase de la portadora es 180° .

En esta investigación tenemos que explicar que la particularidad de la reiteración de los pulsos de sincronismo está ligado a las regiones o zonas de los sistemas de televisión:

- 1.- América (Norte, Central y Sudamérica), Japón y Corea: En donde se emplea como # de líneas (frecuencia de línea): 525 líneas por cuadro a 60 campos por segundo.
- 2.- Europa, África, Asia, Oceanía y algunos países de Sudamérica (Uruguay, Argentina y Brasil): Tenemos 625 líneas por cuadro (frecuencia de 15.63 Hz), a 50 campos por segundo, resultando 25 cuadros.

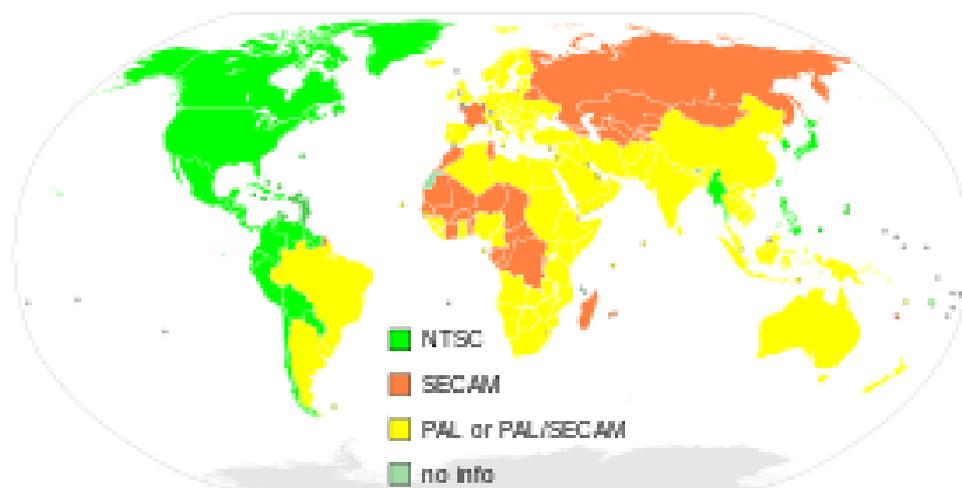


Figura 6. Mapa del mundo con las normas de televisión. Fuente. Recuperado de <http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo330/2s05/projects/Perez/Algoritmos.htm>

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Hipótesis principal o general:

Realizando una investigación de las metodologías matemáticas mejorará la compresión de información.

3.2 Hipótesis específicas o derivadas:

H.E.1 El estudio de la codificación por transformada ayudará a mejorar la calidad de imágenes.

H.E.2 La comparación de los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión disminuirá el retardo o jitter.

H.E.3 El análisis de la codificación VLC aumentará la capacidad de data.

H.E.4 Evaluando la implementación de filtros se obtendrá mayor fiabilidad de la información.

3.3 Identificación de Variables e Indicadores:

Las variables dependientes son las siguientes:

- a) Calidad de imágenes
- b) Retardo o jitter
- c) Capacidad de data
- d) Fiabilidad de información

Las variables independientes o de manipulación:

- a) Codificación por transformada
- b) Comparación códec de video
- c) Codificación VLC
- d) Implementación de filtros

Cuadro 4. Matriz de hipótesis y variables

HIPÓTESIS	VARIABLE
El estudio de la codificación por transformada ayudará a mejorar la calidad de imágenes.	Codificación por transformada
La comparación de los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión disminuirá el retardo o jitter.	Comparación códec de video
El análisis de la codificación VLC aumentará la capacidad de data.	Codificación VLC
Evaluando la implementación de filtros se obtendrá mayor fiabilidad de la información.	Implementación de filtros

Fuente. Elaboración propia

3.4 Operacionalización de las variables:

Se realizó un arreglo de la matriz de operacionalización:

Cuadro 5. Matriz de Operacionalización

Variable dependiente	Indicador VD (Unid.)	Definición Conceptual	Definición Operacional
Calidad de imágenes	MBytes, ppx	Cantidad de datos que se reduce para mejorar el grado de compresión, así como la nitidez y claridad de la imagen (matriz) o secuencia de imágenes (video) expresado en: MBytes y píxeles (mínima unidad de medida de una imagen) ¹ <small>¹Tesis Doctoral, Mario Mastriani, Universidad Nacional General de Sarmiento 2011, Supercompresión de video y aplicaciones http://www.ungs.edu.ar/ms_ungswp-content/uploads/2011/11/mastriani4.pdf Concepto de Resolución de una imagen Apéndice E, pág.205-210</small>	$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k \cos \left[\frac{\pi}{n} j \left(k + \frac{1}{2} \right) \right]$ El instrumento con que se va a medir es el código en matlab (software) de la DCT analizada.
Retardo – Jitter	KHz, ms	Tiempo que tarda la información de ser transmitida del transmisor al receptor ² <small>²Mastriani M., "Union is Strength in Lossy Image Compression," International Journal of Signal Processing, Volume 5, Number 2, pp.112-119, 2009</small>	$I_{T(i,j)} = \left(\frac{Io(i,j) - Io(i,j)_{\min}}{Io(i,j)_{\max} - Io(i,j)_{\min}} \right) 2^{N^{\text{bpps}}} - 1 - \frac{Io(i,j)_{\min}}{Io(i,j)_{\max}}$ La herramienta a usar es el simulador matlab (programa matemático aplicados en redes y telecomunicaciones)
Capacidad de data	Mbps	Se refiere al ancho de banda del canal de video de comunicación ³ <small>³Tesis Doctoral, Enrique Hernández Orallo, Universidad Politécnica de Valencia 2001, http://www.disca.upv.es/enheror/pdf/PresTesis.PDF</small>	$R_{\text{MPS}} = R \cdot (1 - P_{\text{LPS}}) = R - R_{\text{LPS}}$ Los instrumentos que utilizaremos son las pruebas de laboratorio en la TDT (televisión digital terrestre)
Fiabilidad de información	%Pérdida de información, BER	Nos referimos a la probabilidad y cantidad de información que llega al receptor sin pérdidas ⁴ <small>⁴http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmficio.48e/doc/bmficio.48e.pdf 3.2.3 pág.27</small>	Las pruebas de laboratorio aplicadas en la ISDB-TV (Radiodifusión Digital de servicios integrados) sería el instrumento que usaremos

Fuente. Elaboración propia

3.5 Tipo y Diseño de Investigación

Según el tipo, se tiene que esta tesis, es una investigación experimental aplicada, ya que se va a manipular en forma intencional variables independientes como: la codificación por transformada, comparación codec's, la codificación VLC (codificación de longitud variable), implementación de filtros, para estudiar los efectos en otras dependientes como: calidad de imagen, retardo o jitter, capacidad de data, fiabilidad de la información en una imagen o secuencia de video bajo el estándar H.264.

Es una investigación aplicada, porque conociendo y estudiando la teoría sobre: (procesamiento digital de señales, radiodifusión y tv, sistemas de codificación digital, codec's de video, transformadas, sumatorias matemáticas, y temas afines) se buscará nuevas formas de aplicación y aportes a la ingeniería electrónica como el tratamiento y análisis de la compresión de imágenes teniendo como instrumentos de validez un simulador y pruebas de laboratorio.

La tesis posee un diseño de investigación cuasi-experimental porque existe una manipulación de variables para modificar los resultados, avanzando en gran parte el estudio y diseño, sin utilizar un grupo de control predeterminado debido a que en las comparaciones siempre se necesitarán trabajar con variables independientes como la Transformada Discreta del Coseno, codificación VLC, etc. para cambiar los valores de la dependiente (calidad de imagen, capacidad de información, etc.) como es el caso del grupo experimental.

3.6 Unidad de Análisis

La unidad de análisis son las imágenes o matrices de una secuencia de video, este arreglo está formado por filas y columnas, el cruce de éstos 2 son denominados celdas, que a su vez son llamados píxeles, en el caso de la investigación el píxel sería la mínima unidad de medida de una imagen.

3.7 Población de Estudio

En la investigación se utiliza una secuencia de imágenes, es decir un pequeño video de 20 fotos en un lapso de 5 segundos.

3.8 Tamaño de Muestra

De este video tomaremos 1 o 2 grupos de 3 – 4 imágenes por muestra en 1seg., como se muestra en la figura:

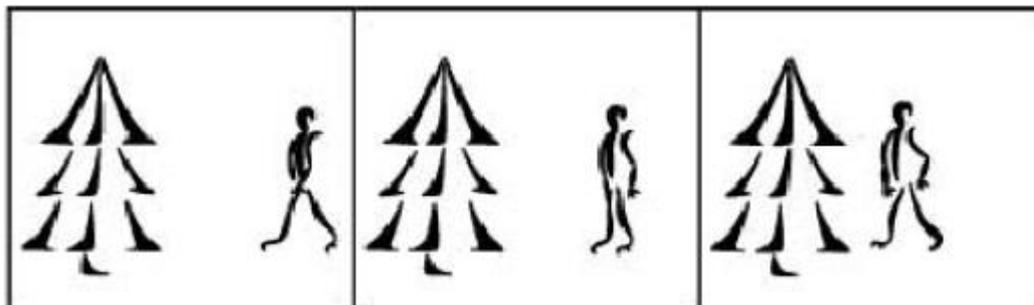


Figura 7. Muestra de una secuencia de 3 imágenes bajo el estándar H.264.
Fuente. Fotograma experiencia propia para ejemplo

3.9 Selección de Muestra

El procedimiento para la selección de muestra, está basado en el estudio y tratamiento de las técnicas de procesamiento de la información (metodologías de compresión) así como pruebas de campo, aplicadas a la tecnología TDT (Televisión Digital Terrestre) en una muestra.

3.10 Técnicas de Recolección de Datos

Como técnicas de recolección de datos para esta investigación se tiene la “Observación” porque se realiza un pre-test y luego un post-test manipulando alguna de las variables independientes conocidas (como: la codificación por transformada, análisis del VLC, etc.), utilizando para ello como instrumento un simulador de redes llamado MatLab R2018a en donde se realiza un análisis y tratamiento de los códigos de las fórmulas matemáticas, así como sus algoritmos.

Esta teoría de códigos matemáticos se debe aplicar a una tarjeta electrónica DSP (Procesamiento Digital de Señales) Prototipo EVM DM series que trabaja entre 550-750MHz con un VCO (Oscilador Controlador de Voltaje) y convertidores análogo-digital a la salida de una señal de televisión mostrando una mejora en cuanto a compresión y calidad de imagen.



Figura 8. Ejemplo de experiencia en laboratorio usando un DVD formato MPEG4-H.264 y una Tarjeta Electrónica DSP EVM DM Series. Fuente. Foto ejemplo de experiencia propia

3.11 Análisis de la Información

Para evaluar y estudiar los datos obtenidos a fin de aceptar o rechazar las hipótesis se elabora un cuadro con las posibles **herramientas estadísticas**:

Cuadro 6. Matriz de Análisis de Datos

Variable Dependiente	Indicador VD	Escala de medición	Estadísticos Descriptivos	Análisis Inferencial
Compresión de información	MBytes	Razón o Proporción	De Tendencia Central: Media, Mediana, Moda De Dispersión: Varianza, Desviación Estándar De Forma: Asimetría y Kurtosis (Verifican si los datos se aproximan a una distribución normal o curva de Gauss)	Pruebas Paramétricas: t de Student (bivariable) (previa verificación que los datos siguen una distribución normal o curva de Gauss) por ello son más confiables
Retardo – Jitter	KHz, ms	Razón o Proporción	De Tendencia Central: Media, Mediana, Moda De Dispersión: Varianza, Desviación Estándar De Forma: Asimetría y Kurtosis (Verifican si los datos se aproximan a una distribución normal o curva de Gauss)	Pruebas Paramétricas: t de Student (bivariable) (previa verificación que los datos siguen una distribución normal o curva de Gauss) por ello son más confiables
Capacidad de data	Mbps	Razón o Proporción	De Tendencia Central: Media, Mediana, Moda De Dispersión: Varianza, Desviación Estándar De Forma: Asimetría y Kurtosis (Verifican si los datos se aproximan a una distribución normal o curva de Gauss)	Pruebas Paramétricas: t de Student (bivariable) (previa verificación que los datos siguen una distribución normal o curva de Gauss) por ello son más confiables
Fiabilidad de información	%Pérdida de información, BER	Razón o Proporción	De Tendencia Central: Media, Mediana, Moda De Dispersión: Varianza, Desviación Estándar De Forma: Asimetría y Kurtosis (Verifican si los datos se aproximan a una distribución normal o curva de Gauss)	Pruebas Paramétricas: t de Student (bivariable) (previa verificación que los datos siguen una distribución normal o curva de Gauss) por ello son más confiables

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de Interpretación de la Información

Técnicas de procesamiento de la información o metodologías de compresión

Existen varias técnicas para mejorar la imagen, pero en esta investigación empleamos:

a) **Suavización** – Mediante esta técnica matemática sobre las matrices, se reduce el ruido en la parte central como en los bordes, es decir se mejora la claridad del contorno de la imagen. (*)

b) **Expansión del histograma**- Los valores mayores y menores de grises de la matriz (imagen original) se aumentan a un máximo y reducen a un mínimo respectivamente para mejorar la calidad de imagen (contenido de imagen, que puede ser en alta definición). (*)

c) **Manipulación de histograma**- Mejora el contraste, brillo: Se suma un valor positivo ($D > 0$) para aclarar o aumentar los valores de los píxeles a una matriz, o uno negativo ($D < 0$) para oscurecer la imagen, píxel por píxel. (*)

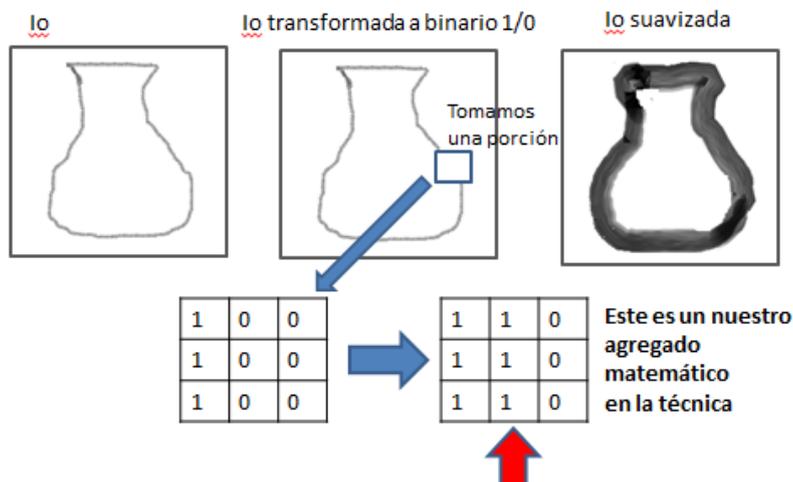
d) **Zoom** - (Agranda, amplía la imagen).- Mediante el uso de la repetición en la matriz original.

e) **Zoom** - (Agranda, amplía la imagen pero con mayor calidad).- Mediante la técnica del **promedio** en la matriz original.

f) **Codificación VLC (Codificación de Longitud Variable)** (*)

g) **Codificación de la Transformada Discreta del Coseno (DCT)** - Mejora la compresión, calidad de imagen y video (secuencia de imágenes) mediante este algoritmo matemático. (*)

a) Suavizado de imágenes y reducir el ruido mejorando el contorno



De la matriz tomamos el mayor valor y la repetimos en toda la 2da columna para mejorar el contorno, el borde de la imagen, ensanchando el borde del jarrón, mejorando en este caso de 11-33% la nitidez del borde.

Figura 9. Suavizado de imágenes. Fuente. Elaboración propia

b) Técnica de la Expansión de Histograma para Mejorar la Calidad de Imagen

Esta técnica hace que los valores mayores se vayan al máximo, los intermedios permanezcan y los menores al mínimo.

$$I_T(i,j) = \left(\frac{I_o(i,j) - I_o(i,j)mín}{I_o(i,j)máx - I_o(i,j)mín} \right) 2^{N^\circ bpp} - 1 - \frac{I_o(i,j)mín}{I_o(i,j)máx} \tag{4.1}$$



Factor que se agrega para mejorar mucho más la calidad de imagen (**Aporte de la tesis**)

Ejemplo:

$$\begin{bmatrix} 15 & 15 & 120 \\ 15 & 10 & 120 \\ 4 & 250 & 4 \\ 4 & 4 & 4 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$

$$2^{N^\circ bpp} = 2^8 = 256 \text{ niveles de gris}$$

$$0 = \text{negro}, 128 = \text{gris}, 255 = \text{blanco}$$

Sin el uso del factor adicional: tomando $I_o=15$, sale $I_t=10.44$ e $I_o=250$, sale $I_t=255$

Con el uso del factor adicional: tomando $l_0=15$, sale $l_t=10.38$ (es mejor porque es menor valor que el píxel anterior y se acerca más a 0 (negro), es decir mejor calidad que la anterior imagen) e $l_0=250$, sale $l_t=254.9$ (se mantiene el valor aproximado a 255(blanco)).

$$\left(\frac{15-4}{250-4}\right) 256 - 1 - \frac{15}{250} = 10.38$$

$$\left(\frac{250-4}{250-4}\right) 256 - 1 - \frac{15}{250} = 254.94$$

Mejora la calidad de 5% a 25%

c) Manipulación de Histograma-Frecuencia (píxel) vs Valor (píxel) de una matriz 8bpp = 256 niveles (graficado en aplicación PAWNT)

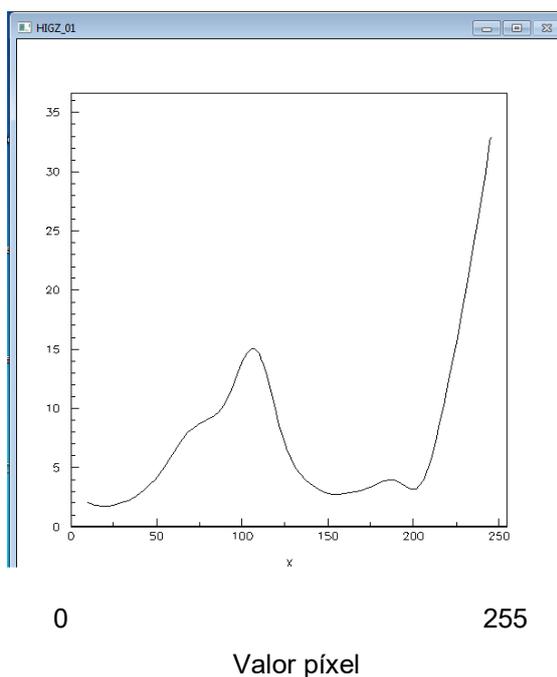


Figura 10. Histograma de la frecuencia de repitencia del valor del píxel en una matriz de 256 niveles. Fuente. Gráfica elaboración propia basada en aplicativo PAWNT.

En la gráfica vemos como aumenta la frecuencia de los valores del píxel tanto en la parte intermedia (grises) como la extrema (blancos) de la matriz o imagen dándole a esta mayor calidad, nitidez, en donde:

0=negro

128=gris

255=blanco

“Como la curva se desplaza más a la derecha, la matriz o imagen posee mayor claridad”.

Compresión con y sin pérdidas

- Sin pérdidas
 - Se puede descomprimir la imagen sin errores, se preserva los datos, la información.
- Con pérdidas
 - La imagen o matriz resultante luego de la descompresión posee errores.

Parámetros de compresión que se utilizó en esta investigación:

Factor o razón de compresión

$$C = n_1/n_2 \quad (4.2)$$

n_1 : Tamaño de imagen o matriz no comprimida

n_2 : Tamaño de imagen o matriz comprimida

Donde: $n_1 \geq n_2$

Redundancia relativa de la codificación de información

$$R = 1 - 1/C \quad (4.3)$$

Probabilidad con la que un nivel de gris aparece en una imagen o matriz

$$P = n_k / n \quad (4.4)$$

Donde: $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$

El número de bits promedio requerido es:

$$L_{AVG} = \sum_k^{L-1} P(r_k) l(r_k) \quad (4.5)$$

Donde:

L: # de niveles de gris

n_k : # de veces que aparece el k-ésimo nivel de gris en la imagen

n: # de píxeles de la imagen o matriz

$l(r_k)$: # de bits para representar cada valor r_k

Compresión sin pérdidas

En la mayoría de aplicaciones, tecnología que utilizamos no se permiten pérdidas en la compresión, ejemplo: TAC, ecografías, imágenes médicas, huella dactilar, equipos biométricos, etc.

Los métodos de codificación que usamos en esta tesis son:

- VLC (Codificación de Longitud Variable) o algoritmo de Huffman
- RLE (Codificación de Longitud de Cadenas)

Otros métodos clásicos que no utilizamos son: ASCII, EBCDIC, etc., en donde se asigna un número fijo de bits a un símbolo o carácter.

f) Codificación VLC (Codificación de Longitud variable)

Mediante esta codificación representamos los niveles de gris más frecuentes con menos cantidad de bits y los menos frecuentes con más cantidad de bits, con esta solución reducimos el tamaño total de la información o datos.

Redundancia de la codificación se llama al uso innecesario de símbolos para codificar niveles de gris.

Obtendremos alta eficiencia en la comprensión, reduciendo entre un: 15% a 20% la información o imagen,

En esta investigación el VLC lo combinaremos con otros métodos de compresión como son el DCT (Transformada Discreta del Coseno) o DFT (Transformada Discreta de Fourier) para aumentar o incrementar el factor de compresión (C).

Para incrementar la capacidad de data y comprimir la información en un 15% a 20% y la descompresión con menos pérdidas realizamos un Tratamiento y Análisis de la codificación VLC (Codificación de Longitud Variable), así como del RLE (Codificación de Longitud de Cadenas), para una matriz o imagen de 8x8, 16x16, 32x32, a 3bpp, 8 niveles de gris, con una codificación binaria: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111, para esta tesis.

Cuadro 7. Codificación VLC para la tesis parte-1

Código binario	Valor píxel	Frecuencia	Probabilidad
000	0	5	$5/256=0.0195$
001	1	25	$25/256=0.0977$
010	2	60	$60/256=0.2344$
011	3	10	$10/256=0.0391$
100	4	36	$36/256=0.1406$
101	5	30	$30/256=0.1172$
110	6	75	$75/256=0.2930$
111	7	15	$15/256=0.0586$

Fuente. Elaboración propia

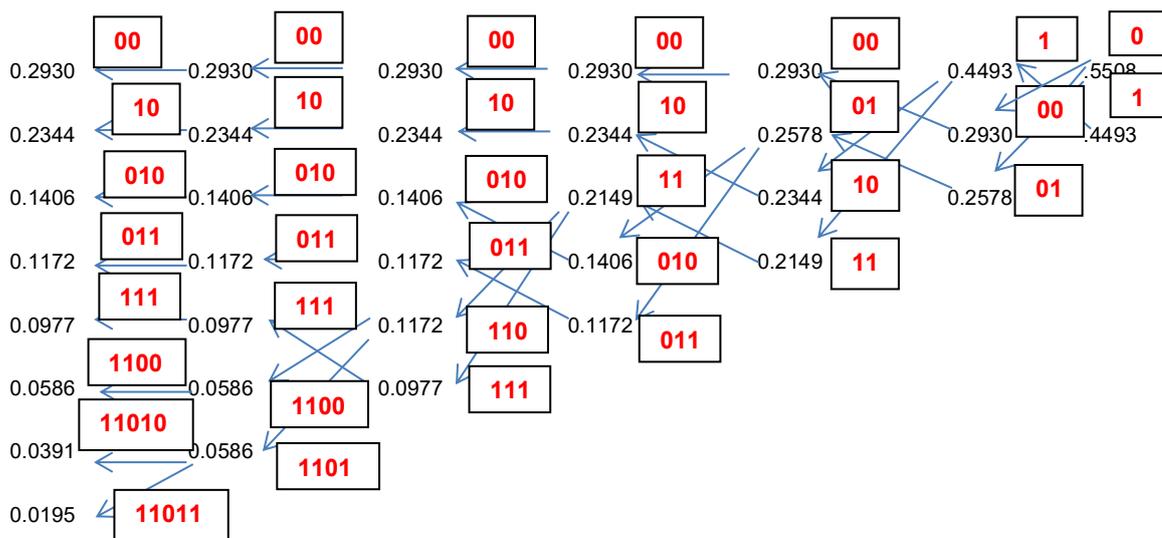


Figura 11. Método del Pescado o Árbol horizontal de Huffman o VLC.
Fuente. Elaboración propia

Cuadro 8. Codificación VLC para la tesis parte-2

Código binario	Nivel gris	Frecuencia	Probabilidad	Código VLC
110	6	75	0.2930	00
010	2	60	0.2344	10
100	4	36	0.1406	010
101	5	30	0.1172	011
001	1	25	0.0977	111
111	7	15	0.0586	1100
011	3	10	0.0391	11010
000	0	5	0.0195	11011

Fuente. Elaboración propia

Ordenando:

Cuadro 9. Codificación VLC para la tesis parte-3

Código binario	Probabilidad	Código VLC
000	0.0195	11011
001	0.0977	111
010	0.2344	10
011	0.0391	11010
100	0.1406	010
101	0.1172	011
110	0.2930	00
111	0.0586	1100

Fuente. Elaboración propia

Sabemos que:

$$L_{AVG} = \sum_{k=0}^7 P(r_k) l(r_k)$$

$$L_{AVG} = (0.0195 * 5) + (0.0977 * 3) + (0.2344 * 2) + (0.0391 * 5) + (0.1406 * 3) + (0.1172 * 3) + (0.2930 * 2) + (0.0586 * 4)$$

$L_{AVG} = 2.6487$ bpp (bit/pixel) (promedio de bits que se necesita para la imagen o matriz ya codificada)

Ahora hallamos la entropía:

$$H = - \sum_{k=0}^7 P(r_k) \log_2(P(r_k))$$

$$H = (0.0195 * \log_2 0.0195) + (0.0977 * \log_2 0.0977) + (0.2344 * \log_2 0.2344) + (0.0391 * \log_2 0.0391) + (0.1406 * \log_2 0.1406) + (0.1172 * \log_2 0.1172) + (0.2930 * \log_2 0.2930) + (0.0586 * \log_2 0.0586)$$

$$H = - 1.11205 - 1.51919 = -2.63125$$

$|H| = 2.63125$ bpp (límite teórico mínimo) Entropía - (Aporte)

Como el promedio de bits codificado y la entropía son valores aproximados (similares) y menores que 3 bits de la imagen original, se concluyó que fue una correcta codificación para esta tesis (investigación).

Se utilizó el menor valor entre ambos parámetros para calcular el factor de compresión:

$C = \# \text{ bits x cada píxel de la imagen original} / \# \text{ bits x cada píxel de la imagen comprimida}$

$$C = 3 / | H | = 3 \text{ bpp} / 2.63125 \text{ bpp}$$

$$C = 1.1401$$

Se finaliza que se consiguió mejorar la compresión (aumentar) en un 14.01%, es decir reducir la imagen en 14%, para esta investigación.

Otro método que utilizamos para esta investigación es la codificación de la transformada con pérdidas:

g) DCT (La Transformada Discreta del Coseno) o DFT (La Transformada Discreta de Fourier).

Ventajas que tienen frente otras transformadas (eje. WDT (Transformada Discreta de Wavelets)):

- Mejores factores de compresión.
- Es en donde la imagen reconstruida se asemejará más a la original.
- Menor costo de inversión.

Del dominio espacial (x,y) (píxeles) convertimos, transformamos la imagen (sub-bloques) al dominio de la transformada, mediante la DCT o DFT, resultándonos coeficientes relevantes y menos relevantes.

Luego es la etapa de la cuantificación, en donde se eliminó los datos o coeficientes irrelevantes, menos importantes con menos información, para enseguida pasar a la codificación.

Las ecuaciones que usamos para esta tesis fueron:

$$C(a, b) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)a\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)b\pi}{2N} \right] \quad (4.6)$$

$$f(x, y) = \sum_{a=0}^{N-1} \sum_{b=0}^{N-1} C(a, b) \cos \left[\frac{(2x+1)a\pi}{2N} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)b\pi}{2N} \right] \quad (4.7)$$

Las funciones de imágenes nos representarán a los coeficientes de las matrices o imágenes:

$$f(x, y) = \sum_{a=0}^{n-1} \sum_{b=0}^{n-1} T(a, b) h(x, y, a, b) \quad (4.8)$$

Donde:

n : dimensión de la sub-imagen o sub-bloque

x, y : 0, 1, 2 ... $n-1$

$h(x, y, a, b)$: representa las funciones de las imágenes base

$T(a, b)$: n^2 coeficientes de la expansión $f(x, y)$ en serie sobre las funciones de las imágenes base

El algoritmo o ecuación que se utilizó en esta investigación para determinar la función de transferencia hallando los coeficientes transformados fue:

$$F = \sum_{a=0}^{n-1} \sum_{b=0}^{n-1} T(a,b) H_{ab} \quad (4.9)$$

$$H_{ab} = \frac{F}{\sum_{a=0}^{n-1} \sum_{b=0}^{n-1} T(a,b)} \quad (4.10)$$

La matriz de transferencia que resultó es:

$$H_{ab} = \begin{pmatrix} h(0,0,a,b) & h(0,1,a,b) & \cdots & h(0,n-1,a,b) \\ \vdots & \ddots & & \vdots \\ h(n-1,0,a,b) & \cdots & & h(n-1,n-1,a,b) \end{pmatrix}$$

Donde:

F: es una matriz nxn que contiene los píxeles f(x,y)

T(a,b) : Coeficientes de expansión del histograma o matriz original

H(a,b) : Función de transferencia de las matrices o imágenes de la base-originales para la expansión

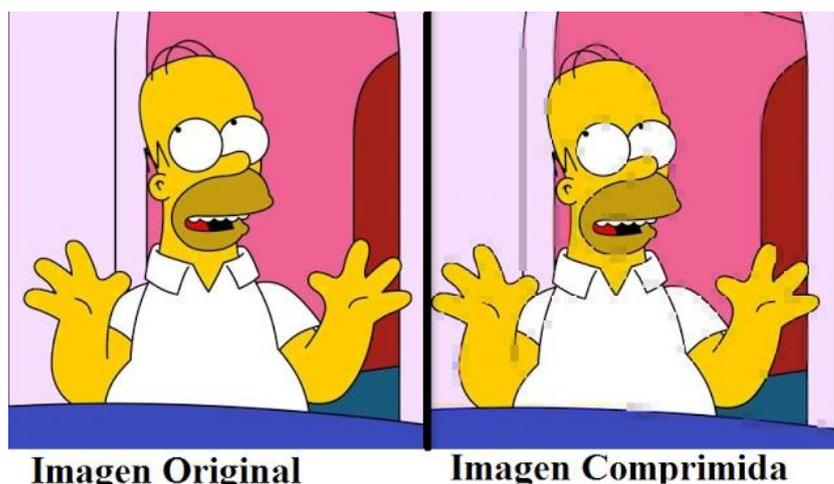


Figura 12. **Imagen comprimida a colores.** Fuente. Foto ejemplo para aplicación en tesis.

En el ejemplo se tomó una imagen a color, la descomprimimos en 3 matrices (R, G, B) y cada una de estas la dividimos en sub-bloques o sub-matrices de 8x8 aplicándole la DCT, luego recorreremos la matriz en forma de zig-zag como en la matriz 2, asignando a cada posición un valor, en total tendremos 64 posiciones (los coeficientes de la parte superior izquierda serán los valores con menor relevancia, importancia).

Después de hacer este recorrido y obtener los valores de los módulos, se hace el descarte de los coeficientes transformados el cual elimina los valores que son mayores de la suma de los módulos que le prosiguen, así tenemos la imagen comprimida.

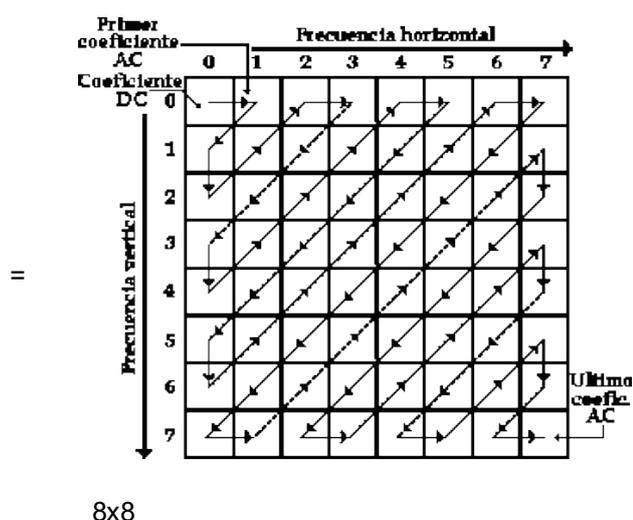


Figura 13. **Técnica DCT – Matriz 1.** Fuente. Elaboración propia

$$= \begin{bmatrix} 52 & 55 & 61 & 66 & 70 & 61 & 64 & 73 \\ 63 & 59 & 55 & 90 & 109 & 85 & 69 & 72 \\ 62 & 59 & 68 & 113 & 144 & 104 & 66 & 73 \\ 63 & 58 & 71 & 122 & 154 & 106 & 70 & 69 \\ 67 & 61 & 68 & 104 & 126 & 88 & 68 & 70 \\ 79 & 65 & 60 & 70 & 77 & 68 & 58 & 75 \\ 85 & 71 & 64 & 59 & 55 & 61 & 65 & 83 \\ 87 & 79 & 69 & 68 & 65 & 76 & 78 & 94 \end{bmatrix}$$

8x8

Figura 14. Técnica DCT – Matriz 2. Fuente. Elaboración propia

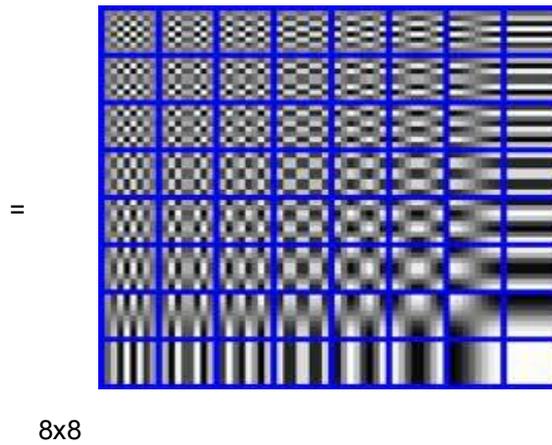


Figura 15. Técnica DCT – Matriz 3. Fuente. Elaboración propia

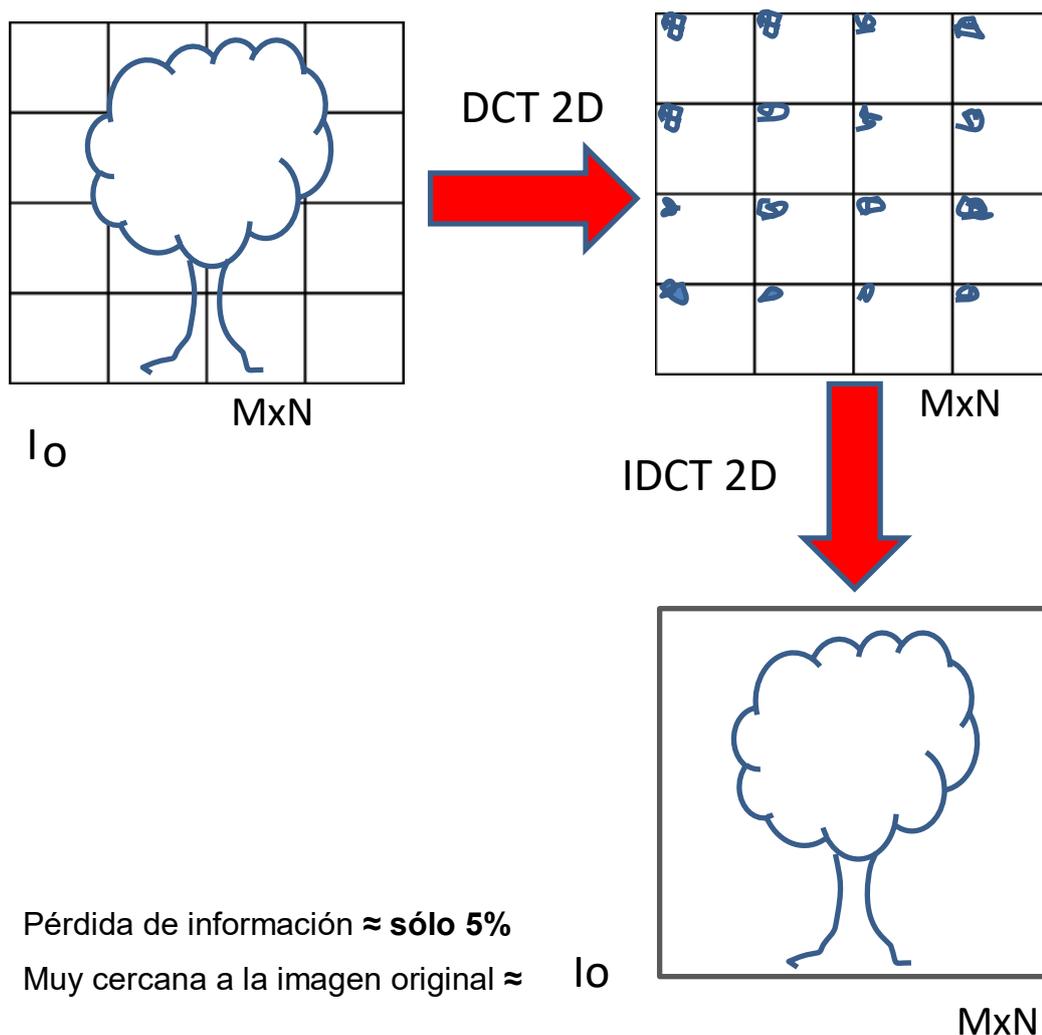


Figura 16. Diagrama de bloques de la DCT y de la IDCT. Fuente. Elaboración propia

Con el avance de la tecnología se busca transmitir contenido de alta definición con mayor calidad y menos pérdida, por eso una de las herramientas matemáticas que se empleó es la DCT (Transformada Discreta del Coseno) que elimina, reduce los datos redundantes e irrelevantes en una imagen o matriz antes de ser transmitida o almacenada para luego recuperar la imagen o secuencia de imágenes original, con mayor calidad.

La compresión se realizó para mejorar la eficiencia en la transmisión y almacenamiento de información, que tiene aplicaciones como en: la TV digital, UHDTV, codecs H.264, MPEG-4, H.265, videoconferencia, video streaming, video vigilancia, imágenes médicas, secuencia de imágenes, planos, mapas, etc.

Comparación de los estándares de video MPEG-2, MPEG-4(parte-2) y MPEG-4(parte-10) o H.264 AVC usando para ello como instrumento el simulador matemático MatLab R2018a.

Para hacer la comparación de los diferentes resultados de las variables dependientes como la capacidad o ancho de banda entre los estándares de video en estudio se debe medir en las etapas o elementos de un sistema general de compresión de video como se muestra en (ver *Figura 17*).

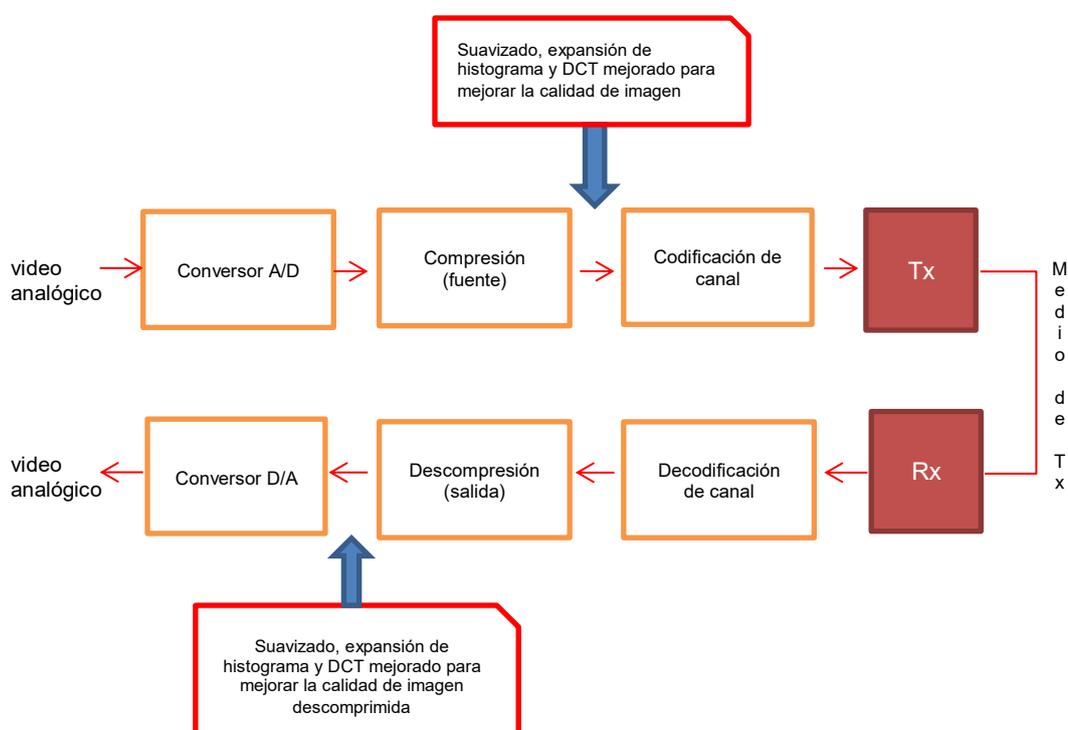


Figura 17. Diagrama de bloques de compresión de video en un sistema digital de TV, con las metodologías matemáticas para mejorar la compresión y calidad de imagen. Fuente. Elaboración Propia con instrumento Power Point 2019.

Pruebas en los elementos de un sistema de televisión digital utilizando códigos MatLab (instrumento):

A.- Filtro Pasa Bandas

Donde e, f, g y h son vectores ejemplo:

```
>> e = 1/2;
>> f = [1/4 1/4 1/4 1/4];
>> load count.dat
>> x = count(:,1);
% y: datos filtrados
>> y = filter(f,e,x);
>> figure
>> t = 1:length(x);
>> plot(t,x,'--',t,y,'-'),
>> grid on
>> legend('Estándar MPEG4 parte10','Estándar MPEG2',2)
>> g = 3/2;
>> h = [3/2 3/2 3/2 3/2];
>> load count.dat
>> x = count(:,1);
% y: datos filtrados
>> y = filter(h,g,x);
>> figure
>> plot(t,x,'--',t,y,'-'),
>> grid on
>> legend('Estándar MPEG-4 parte10','Estándar MPEG-2',2)
>> title('Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante un filtro pasa bandas')
```

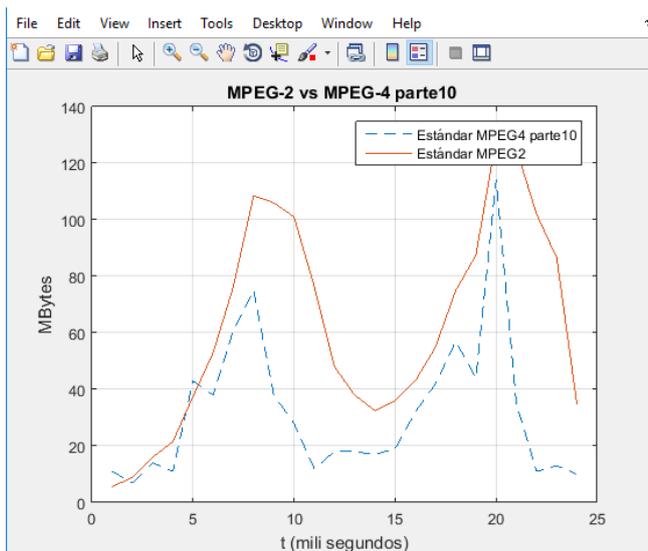


Figura 18. Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante filtro pasa bandas (Parte1). Fuente. Elaboración Propia MatLab R2018a.

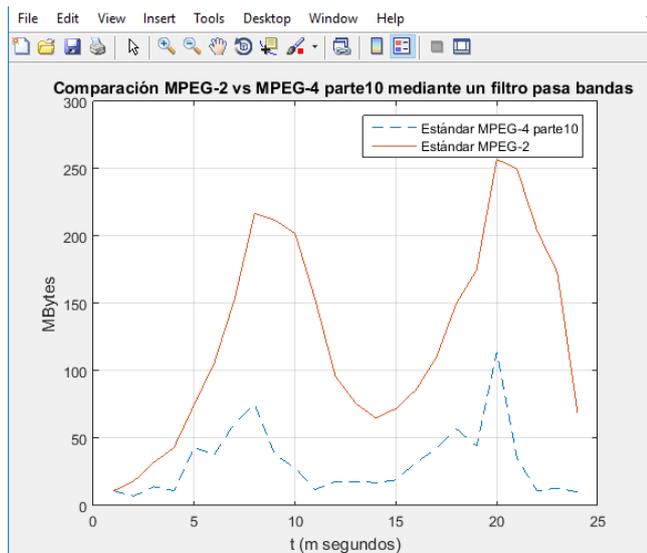


Figura 19. Comparación MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 mediante filtro pasa bandas (Parte2). Fuente. Elaboración Propia MatLab R2018a.

De la (ver *Figura 19*) elaborada en MatLab concluimos que comparando MPEG-2 con el MPEG-4 parte10 (estándar de video H.264 AVC) que después de pasar la señal portadora por el filtro pasa banda, la información en MBytes del MPEG-4 (H.264 AVC) disminuye, se comprime más que utilizando el estándar MPEG-2.

B.- Compresión de la portadora (Luminancia y Crominancia)

Para la compresión de la señal portadora de los estándares MPEG-2, MPEG-4(parte-2) y MPEG-4(parte-10) o H.264 AVC vamos a utilizar como algoritmo o función matemática para comprimir la DCT (Transformada Discreta del Coseno) o DFT (Transformada Discreta de Fourier) con un filtro digital tipo FIR.

C.- Retardo de tiempo (Jitter)

```

fs = 100;                % Frecuencia de muestreo (Hz)
t = 0:1/fs:10-1/fs;     % 10 sec x muestra
x = (1.3)*sin(2*pi*15*t) ... % 15 Hz componente
  + (1.7)*sin(2*pi*40*(t-2)) ... % 40 Hz componente
  + 2.5*gallery('normaldata',size(t),4); % Ruido Gaussiano

m = length(x);         % longitud de la ventana
n = pow2(nextpow2(m)); % longitud de la transformada
y = fft(x,n);          % DFT (Transformada de fourier-valores discretos)
f = (0:n-1)*(fs/n);    % Rango de la frecuencia
power = y.*conj(y)/n;  % Nivel de potencia de la DCT
plot(f,power)
xlabel('Frequency (Hz)')
ylabel('Power')
title('\bf Periodogram')

```

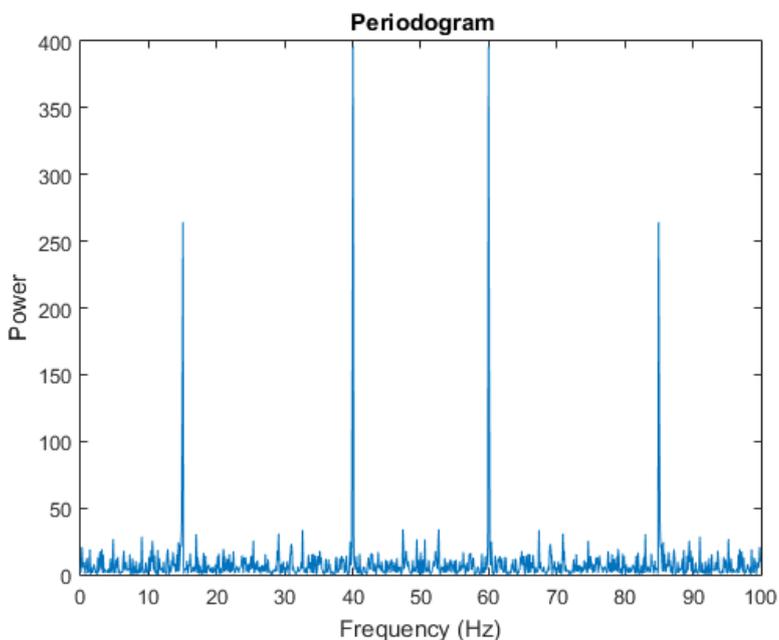


Figura 20. Nivel de Potencia y jitter del estándar H.264.
Fuente. Elaboración Propia MatLab R2018a

```

y1 = fftshift(y);      % Valores y rangos rearrglabes
f1 = (-n/2:n/2-1)*(fs/n); % 0-frecuencia central
power1 = y1.*conj(y1)/n; % 0-Nivel de Potencia central

```

```

>> plot(f1,power1,'-',f2,power2,'--'),grid on % Comparación jitter-retardo de tiempo MPEG-2 vs
MPEG-4 parte10 (H.264 AVC)

```

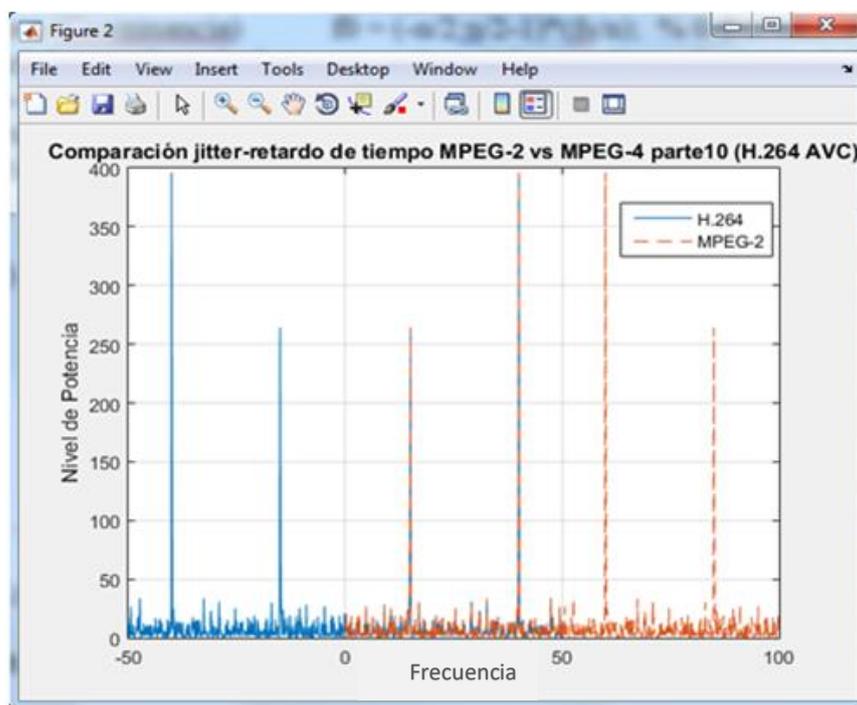


Figura 21. Comparación del retardo o jitter de tiempo entre MPEG-2 vs MPEG-4 parte10 (H.264 AVC). Fuente. Elaboración Propia MatLab R2018a

De la (ver *Figura 21*) se concluye que después de muestrear, cuantizar, modular (modulación QAM), filtrar y comprimir con la DCT o DFT la señal de entrada (portadora) que los diferentes niveles de potencia del estándar MPEG-2 se retrasan más que los del MPEG-4 parte 10 (H.264 AVC), es decir su jitter es más grande.

4.2 Comprobación de hipótesis

4.2.1 Hipótesis principal o general:

Realizando una investigación de las metodologías matemáticas mejorará la compresión de información, esta hipótesis general se comprueba o verifica porque se cumplieron con todas las hipótesis específicas.

Cabe recalcar que los valores de las variables resultantes-dependientes se interrelacionan entre sí, es decir si la imagen o matriz se comprime más aumenta la velocidad de transmisión, mejora la calidad de imágenes, disminuye el jitter (retardo), se reduce el BER (tasa de error de bit), y a la inversa, sólo por fines prácticos, analizar variados métodos de procesamiento de información con aporte y comprender bien la investigación se utilizó muchas variables dependientes.

4.2.2 Hipótesis específicas o derivadas:

H.E.1 El estudio de la codificación por transformada ayudará a mejorar la calidad de imágenes, esta hipótesis se comprobó con la técnica de la codificación por transformada en el literal g) del subcapítulo 4.1, como se muestra en el (ver *Cuadro 10*) de resultados.

H.E.2 La comparación de los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión disminuirá el retardo o jitter, esta hipótesis se verificó en la simulación con el software MatLab en el literal C) del subcapítulo 4.1.

H.E.3 El análisis de la codificación VLC aumentará la capacidad de data, la hipótesis se constató con el estudio de la codificación VLC en el literal f) del subcapítulo 4.1, como se muestra en el (ver *Cuadro 10*) de resultados.

H.E.4 Evaluando la implementación de filtros se obtendrá mayor fiabilidad de la información, esta hipótesis se verificó en la simulación con el software MatLab en el literal A) y literales a), b) y g) del subcapítulo 4.1.

4.3 Presentación de resultados

Cuadro 10. Tabla comparativa entre los estándares de video según los resultados obtenidos en MatLabR2018a dentro del estudio de las metodologías matemáticas para mejorar la compresión y calidad de imagen (de resultados).

Variable dependiente de salida	MPEG-2	MPEG-4 parte 10 (aporte con las metodologías en la tesis) H.264 AVC	H.265 HEVC
(Calidad de imagen) Compresión de la portadora después del filtro pasa banda	(120 - 100)MBytes	(80 - 60)MBytes	≤ 40 MBytes (sigue en estudio, debe mejorar)
(Retardo – Jitter) después de muestrear, cuantizar, modular (modulación QAM), filtrar y comprimir con la DFT la señal de entrada (portadora) en los diferentes niveles de potencia	(0 - 35KHz)	(0 - 20KHz)	≤ 20 KHz (sigue en estudio, debe mejorar)
(Capacidad - Velocidad de transmisión en Mbps) después de filtrar la señal (portadora) por un filtro digital FIR 3D para las diferentes frecuencias de niveles	(5 - 10) Mbps	(10 - 100) Mbps	≥ 100 Mbps (sigue en estudio, debe mejorar)
(Fiabilidad de información) después de filtrar la señal (portadora) por un filtro digital FIR 3D para los diferentes niveles de píxeles en (R, G, B)	(15 - 10) % Pérdida de Información	(10 - 5) % Pérdida de Información	$\leq 5\%$ Pérdida de Información (sigue en estudio, debe mejorar)

Fuente. Elaboración propia basada en los resultados obtenidos al aplicar las técnicas de procesamiento de información y el simulador matemático.

Con los resultados obtenidos del simulador MatLab concluimos que comparando MPEG-2 con el MPEG-4 parte10 (estándar de video H.264 AVC) que después de pasar la señal portadora por el filtro pasa banda, la información del MPEG-4 (H.264 AVC) en un rango de (80 - 60)MBytes disminuye, se comprime más que utilizando el estándar MPEG-2.

Para la compresión de la señal portadora (luminancia y crominancia) de los estándares MPEG-2, MPEG-4(parte-2), MPEG-4(parte-10) o H.264 AVC y H.265 vamos a utilizar como algoritmo o función matemática para comprimir la DFT (Transformada Discreta de Fourier) con un filtro digital tipo FIR.

Se concluye que después de muestrear, cuantizar, modular (modulación QAM), filtrar y comprimir con la DFT o DCT la señal de entrada (portadora) que los diferentes niveles de potencia del estándar MPEG-2 se retrasan más que los del MPEG-4 parte 10 (H.264 AVC) y que del H.265 HEVC, es decir su retardo es mayor.

CAPÍTULO 5. IMPACTO

La compresión se empleó para mejorar la eficiencia de la transmisión y almacenamiento de datos, aplicándose en: videoconferencia, video streaming, video vigilancia, video juegos, TV digital, normas H.264, MPEG-4, H.265, imágenes médicas, satelitales, planos, mapas, y similares.

5.1 Aplicaciones

De los estándares de compresión de video MPEG-2, MPEG-4 parte10 (H.264) y H.265 HEVC utilizando las metodologías matemáticas para mejorar la compresión de video:

5.1.1 Aplicaciones novedosas del códec H.264 y H.265 en lo que respecta a juegos de video

Estos estándares han tenido una gran repercusión en las consolas de video juegos como es el caso del Hauppauge, dispositivo desde el año 2013 – 2019 que da una solución inteligente a la captura y grabación de video HD en tiempo real contando con entradas de video componente y con un software avanzado que soporta los estándares MPEG-4 parte 10 y H.265 HEVC logrando una mayor capacidad de compresión y calidad de imagen con alta definición.

El HD PVR funciona de la siguiente manera: la señal de video analógica entra en la unidad central, ésta la convierte a una señal digital que envía al ordenador mediante el cable USB y es el software que se ha instalado en el ordenador el que captura la señal.



Figura 22. Consola de video juego Hauppauge 2018. Fuente. Foto ejemplo de referencia de aplicación.

La calidad de video es buena siempre y cuando se utilice la velocidad de bit rate adecuada que son de 16Mbps sobre todo en figuras de 1080 líneas por cuadro con objetos en movimiento manteniendo así la fidelidad deseada.



Figura 23. Video Juego. Fuente. Foto ejemplo de referencia de aplicación

5.1.2 Otras aplicaciones del estándar de video MPEG-2, MPEG-4 parte 10 y H.264 AVC

A continuación, se presentan ejemplos y aplicativos de estándares de video en la actualidad:

5.1.2.1 Equipos de reproducción en vivo y video en tiempo real

Con tarjetas de codificación utilizando los códecs MPEG-4 parte 10 y H.264 AVC para la investigación.



Figura 24. Tarjeta de Aceleración de Codificación de video H.264 MAX. Fuente. Foto ejemplo para experiencia propia

Cuadro 11. Configuración de la Tarjeta estándar de video H.264 MAX

Aceleración de codificación H.264 MAX	
Resoluciones	Tamaños de cuadro desde 64 x 64 a 1920 x 1080
Tasas de bits	100 Kb/s-50 Mb/s
Frecuencias de cuadros	15, 23,98, 24, 25, 29,97, 30, 50, 59,94 y 60 por segundo
Perfiles de codificación	Línea de base (CAVLC) y principal (CABAC) <ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad con los niveles 2.0, 3.0, 3.1, 4.0, 4.1 y 4.2 • Estructura GOP • Tasa de bits constante (la tasa de bits permanece estable; la calidad varía de acuerdo a la complejidad de cada cuadro) • Calidad constante (cada cuadro de vídeo se analiza para ofrecer la calidad deseada; la tasa de bits varía manteniéndola lo más baja posible) • Tasa de bits variable (ofrece la más alta calidad posible con una tasa de bits media)
Controles de codificación	<ul style="list-style-type: none"> • Filtrado de ruido (ahorra bits al reducir las frecuencias altas en el vídeo) • Eliminación de entrelazado (garantiza codificaciones de alta calidad de SD entrelazado y material fuente 1080i) • Control deslizante de velocidad de datos (produce transiciones más suaves o más bruscas) • Monitorización de velocidad de muestra (verifica el cumplimiento de la velocidad de datos especificada) • Detección de escena (proporciona calidad comparable a la de varios pases en uno solo con Apple Compressor)
Escala de hardware dedicado	
Escala de hardware dedicado	Procesamiento 10 bits Multi-tap en tiempo real
Software	
Codificación H.264	Adobe Encore, Adobe Media Encoder, Apple Compressor, Telestream Episode
Creación de Blu-ray	Adobe Encore, Roxio Toast, Apple Compressor
General	
Dimensiones (tarjeta PCIe de 3/4 de longitud)	Longitud: 17 cm (6,75") x Anchura: 7cm (2,75") x Altura: 1 cm (3/8")
Peso	0,08 libras (36,29 gramos)
Cumplimiento de regulaciones	<ul style="list-style-type: none"> • FCC Clase B, Marcado CE Clase B y ACMA Clase B • Directiva RoHS 2002/95/CE
Garantía limitada y servicio	Garantía limitada de 3 años con asistencia telefónica gratuita
Requisitos eléctricos y de funcionamiento	
Alimentación	Consumo total de energía: 10 vatios
Medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura de funcionamiento: 0 a 40 °C (32 a 104 °F) • Temperatura de almacenamiento: -40 a 75 °C (-40 a 167 °F) • Altitud máxima de funcionamiento: 3.000 metros • Altitud máxima de transporte: 12.000 metros • Humedad de funcionamiento: 20-80% de humedad relativa (sin condensación) • Humedad de almacenamiento: 5-95% de humedad relativa (sin condensación)
Voltajes de funcionamiento típicos y consumo eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje +3,3 V - +12 V • Corriente 3,0 A - 0 A
Contenido del kit	
En la caja	Tarjeta Matrox CompressHD

Fuente. Recuperado de <http://www.matrox.com/video/es/products/compresshd/specs/>

5.1.2.2 Sistemas de Video Vigilancia con cámaras IP DOMO MPEG-4, H.264 AVC

Una central de gestión de video vigilancia encargada de la supervisión y control por ejemplo de un Data Center mediante cámaras IP DOMO con formato MPEG-4 y H.264 tienen elementos principales como son: Un servidor (S.O), una Pc, un DVR (Digital Video Recorder), un NVR (Network Video Recorder) y cámaras de video streaming IP que se configuran vía web mediante una aplicación que permite estar conectados permanentemente y sincronizados con el NVR y servidor, en el cual cada una tiene un TCP/IP asignado, como a continuación se muestra:



Figura 25. **Video Vigilancia – Parte1**. Fuente. Elaboración propia basada en el aplicativo del Data Center del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-COFOPRI.

>Client settings

Home

H.264/MPEG-4 media options

Video and audio
 Video only
 Audio only

H.264/MPEG-4 protocol options

UDP unicast
 UDP Multicast
 TCP
 HTTP

MP4 saving options

Folder: C:\Record

 File name prefix: CLIP
 Add date and time suffix to file name

Local streaming buffer time

Millisecond

Figura 26. Video Vigilancia – Parte2. Fuente. Elaboración propia basada en el aplicativo del Data Center del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-COFOPRI.

System > Parameters

System

- General settings
- Homepage layout
- Logs
- Parameters**
- Maintenance

Security

Network

Media

PTZ

Event

Applications

Recording

Local storage

[Basic mode]

Parameters

```

media_11_snapshot_postevent='1'
media_11_videoclip_source='0'
media_11_videoclip_prefix='VideoClip2_'
media_11_videoclip_preevent='0'
media_11_videoclip_maxduration='5'
media_11_videoclip_maxsize='1000'
media_12_name=''
media_12_type='snapshot'
media_12_snapshot_source='0'
media_12_snapshot_prefix='Snapshot3_'
media_12_snapshot_datesuffix='0'
media_12_snapshot_preevent='1'
media_12_snapshot_postevent='1'
media_12_videoclip_source='0'
media_12_videoclip_prefix='VideoClip3_'
media_12_videoclip_preevent='0'
media_12_videoclip_maxduration='5'
media_12_videoclip_maxsize='1000'
media_13_name=''
media_13_type='snapshot'
media_13_snapshot_source='0'
media_13_snapshot_prefix='Snapshot4_'
media_13_snapshot_datesuffix='0'
media_13_snapshot_preevent='1'
media_13_snapshot_postevent='1'
media_13_videoclip_source='0'
media_13_videoclip_prefix='VideoClip4_'
media_13_videoclip_preevent='0'
media_13_videoclip_maxduration='5'
media_13_videoclip_maxsize='1000'
media_14_name=''
  
```

Figura 27. Video Vigilancia – Parte3. Fuente. Elaboración propia basada en el aplicativo del Data Center del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-COFOPRI.

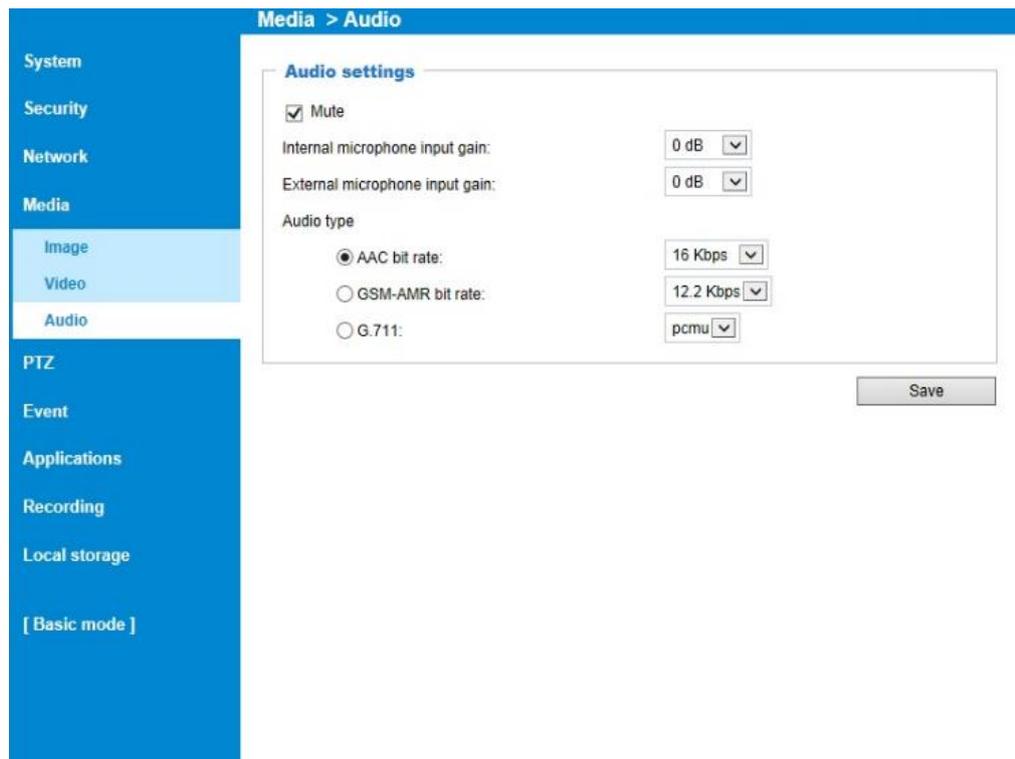


Figura 28: Configuración del estándar H.264 AVC o MPEG-4 en la aplicación de las cámaras DOMO IP – Parte1. Fuente. Elaboración propia basada en el aplicativo del Data Center del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-COFOPRI.

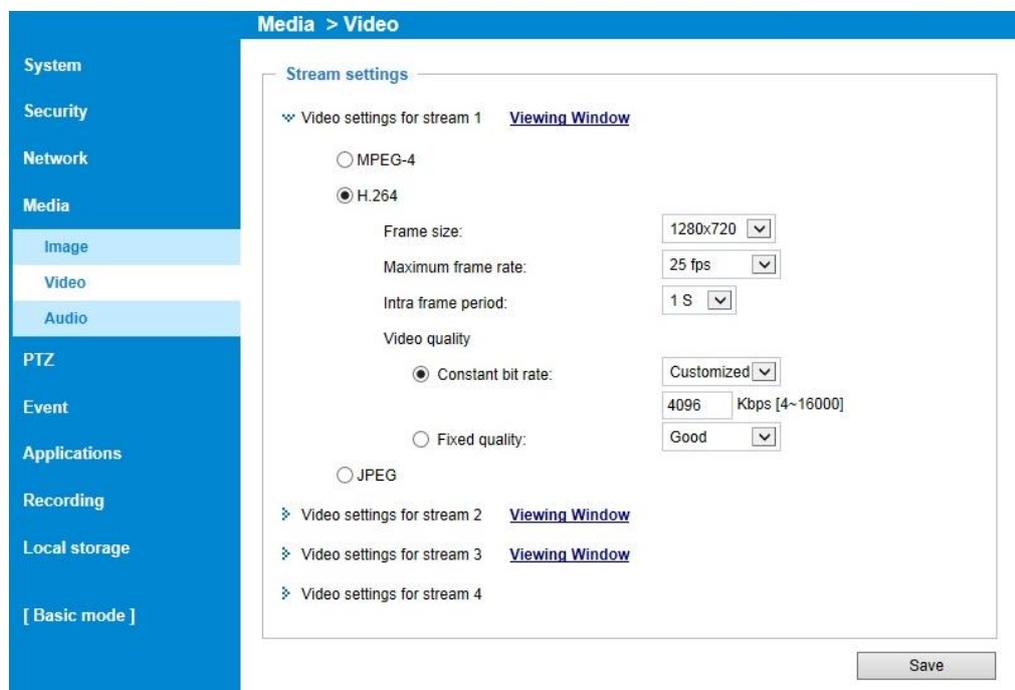


Figura 29: Configuración del estándar H.264 AVC o MPEG-4 en la aplicación de las cámaras DOMO IP – Parte2. Fuente. Elaboración propia basada en el aplicativo del Data Center del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-COFOPRI.

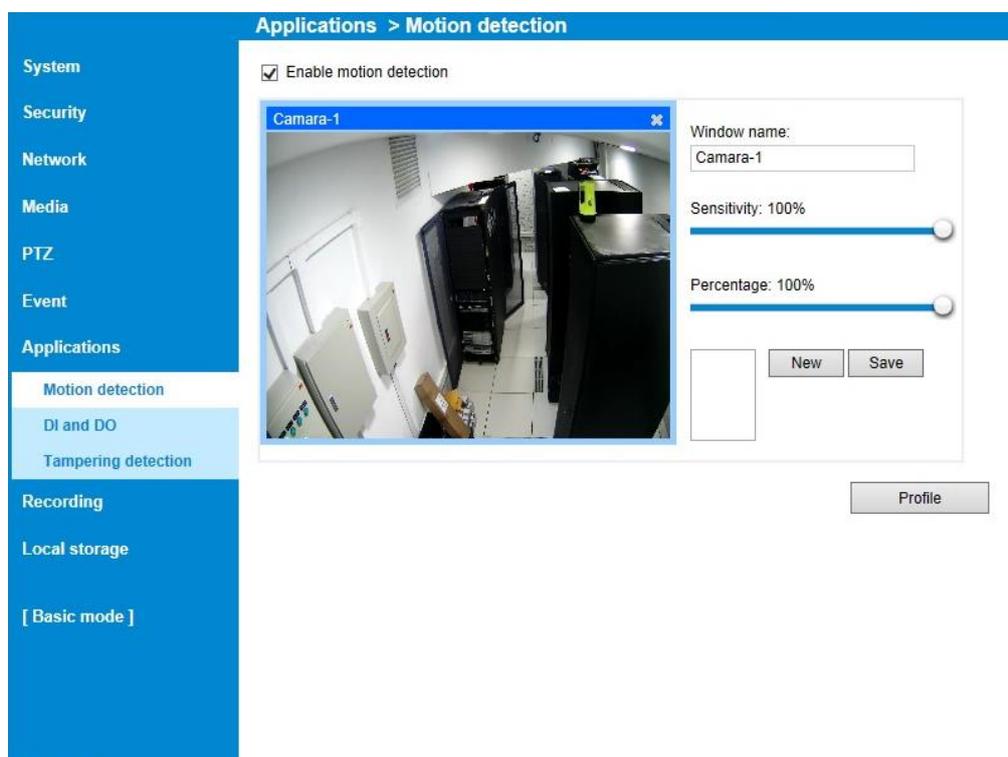


Figura 30. Configuración del estándar H.264 AVC o MPEG-4 en la aplicación de las cámaras DOMO IP – Parte3. Fuente. Elaboración propia basada en el aplicativo del Data Center del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento-COFOPRI.

5.2 Costos de Implementación de la Propuesta

Como es una investigación “tipo experimental” no se toma un presupuesto de inversión con CAPEX (gastos de capital) y OPEX (gastos operativos) sino sólo un plan de gastos de equipos, hardware y software para “pruebas de laboratorio” con un presupuesto referencial total de \$19,170.

Cuadro 12. Presupuesto

Item	Equipos-componentes	Cantidad	Precio unitario (\$)	Costo (\$)
1	Pantalla LCD HDTV	2	1500	3000
2	Cable de video RGB	2	20	40
3	Cable DVI ver.1	2	30	60
4	CPU con HDD (Data Base)	1	1600	1600
5	Reproductor DVD MPEG-4-H.264	1	800	800
6	Cable S-video	2	15	30
7	Router Gateway	1	2000	2000
8	Tarjeta DSP (Procesador Digital de Señales) Prototipo EVM DM series, que trabaja a la frecuencia 550-750MHz con VCO (oscilador controlador de voltaje) y convertidores digital-análogo a la salida de los televisores a partir de una señal digital del encoder interno del DSP	1	6000	6000
9	Protoboard	2	45	90
10	Analizador de Espectros	1	4000	4000
11	Multímetro Digital Fluke	1	350	350
12	Licencia simulador de redes MatLab R2018a	1	1200	1200
	Costo Total aprox.:			19170

Fuente. Elaboración Propia basada en los costos de equipos

5.3 Cronograma de Actividades

5.3.1 Hoja de Ruta

A continuación, se muestra la hoja de ruta con las tareas y actividades de la tesis, desde que comienza como una Idea de Tesis luego a Proyecto de Tesis continúa como Borrador de Tesis, Presentación de la Tesis (con sus resultados y conclusiones).

Cuadro 13. Hoja de actividades de la Tesis

		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	✓		Búsqueda idea de tema	21 días	mar 16/05/17	mar 13/06/17	
2	✓		◀ Tema de Tesis	60 días	mié 14/06/17	mar 5/09/17	1
3	✓		Título Tentativo del Proyecto Tesis	15 días	mié 14/06/17	mar 4/07/17	
4	✓		Índice Referencial	45 días	mié 5/07/17	mar 5/09/17	3
5	✓		Motivación de la tesis	15 días	lun 11/09/17	vie 29/09/17	4
6	✓		◀ Estudio del tema	60 días	lun 2/10/17	vie 22/12/17	5
7	✓		Lectura de publicaciones	15 días	lun 2/10/17	vie 20/10/17	
8	✓		Lectura de artículos indexados	7 días	lun 23/10/17	mar 31/10/17	7
9	✓		Lectura de papers doctorales, de maestría	38 días	mié 1/11/17	vie 22/12/17	8
10	✓		◀ Problema tema de investigación	45 días	sáb 6/01/18	jue 8/03/18	9
11	✓		Planteamiento del Problema	15 días	sáb 6/01/18	jue 25/01/18	
12	✓		Formulación del Problema	15 días	vie 26/01/18	jue 15/02/18	11
13	✓		Justificación del Problema	15 días	vie 16/02/18	jue 8/03/18	12
14	✓		◀ Objetivos	15 días	vie 9/03/18	jue 29/03/18	10
15	✓		Objetivo Principal	5 días	vie 9/03/18	jue 15/03/18	
16	✓		Objetivos Secundarios	10 días	vie 16/03/18	jue 29/03/18	15
17	✓		◀ Hipótesis y Variables	60 días	mié 2/05/18	mar 24/07/18	14
18	✓		Hipótesis Principal	7 días	mié 2/05/18	jue 10/05/18	
19	✓		Hipótesis Específicas	15 días	vie 11/05/18	jue 31/05/18	18
20	✓		Identificación de Variables (Dependiente e Independiente)	7 días	vie 1/06/18	lun 11/06/18	19
21	✓		Matriz de Consistencia	15 días	mar 12/06/18	lun 2/07/18	20
22	✓		Matriz de Operacionalización	16 días	mar 3/07/18	mar 24/07/18	21
23			◀ Metodología		mié 25/07/18		17
24			Tipo y Diseño de Investigación	5 días	mié 25/07/18	mar 31/07/18	
25			Población	7 días	mié 1/08/18	jue 9/08/18	
26			Muestra	6 días	vie 10/08/18	vie 17/08/18	
27			Procedimientos selección de muestra	20 días	lun 20/08/18	vie 14/09/18	
28			Recolección de Datos	15 días	lun 17/09/18	vie 5/10/18	
29			Análisis e Interpretación de la Información	15 días	lun 8/10/18	vie 26/10/18	
30			Tiempo muerto descanso	45 días	lun 29/10/18	jue 24/01/19	
31	✓		Simulación	30 días	vie 1/02/19	jue 14/03/19	30
32	✓		Pruebas de Campo	30 días	vie 15/03/19	jue 25/04/19	31
33	✓		Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados	30 días	vie 26/04/19	jue 6/06/19	32
34	✓		Conclusiones	16 días	lun 10/06/19	lun 1/07/19	33

Fuente. Elaboración Propia con instrumento MS Project 2019

5.3.2 Diagrama de Gantt – Cronograma de actividades en el tiempo

El tiempo de duración de la realización de esta Investigación Experimental, ya con las pruebas de campo, llegando a conclusiones y resultados fue de 555 días aproximadamente (18 meses) incluidos retrasos y tiempos muertos.

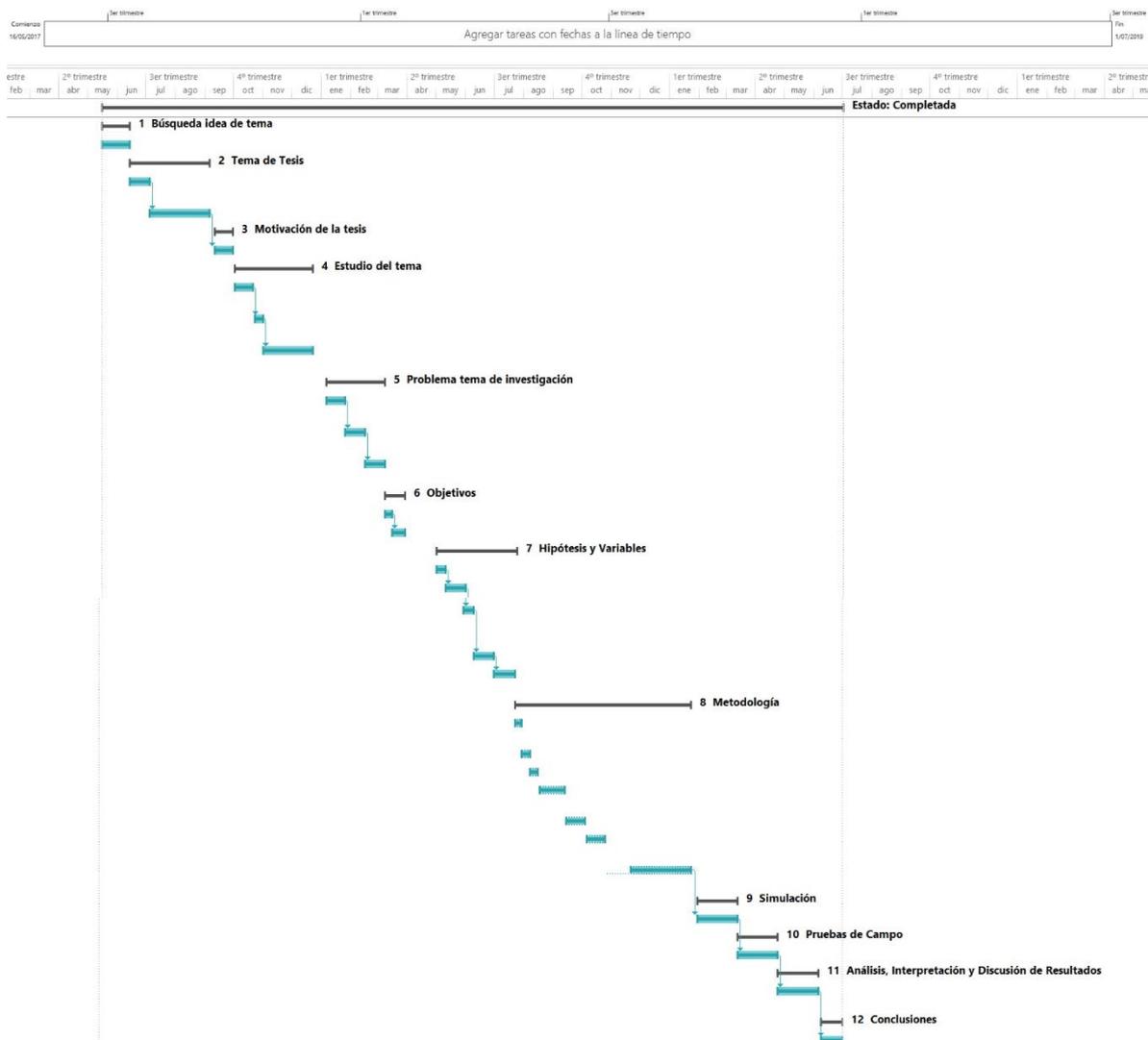


Figura 31. Diagrama de Gantt por trimestres.
 Fuente. Elaboración Propia con instrumento MS Project 2019

5.4 Logros de la investigación

- Se comparó los parámetros de los estándares de video más importantes como el MPEG-2, MPEG-4, H.264 AVC mediante el simulador MatLab obteniendo resultados que nos indican la superioridad en cuanto a grado (factor) de compresión de la señal (portadora) al códec H.264 AVC y al H.265 (que sigue en estudio como se muestra en el (ver *Cuadro 10*) del Capítulo 4).
- Se encontró que como método de codificación de canal el VLC es el más adecuado para combinar con una codificación por transformada, ya sea DCT o DFT.
- Como transformadas matemáticas se obtuvieron que la DCT y la DFT son las que comprimen más las imágenes con la mínima cantidad de pérdida de información hasta regenerar la señal.

CONCLUSIONES

En conclusión que utilizando la DCT o la DFT, con codificación VLC como metodologías matemáticas para comprimir video H.264 AVC son las más ventajosas porque con ellas podemos recuperar o restaurar la imagen con la mínima cantidad de pérdida de información posible, siendo las técnicas matemáticas más importantes para esta tesis para mejorar la calidad de imagen como nos muestra los resultados y valores obtenidos del simulador MatLabR2018a según (ver *Cuadro 10*), Capítulo 4, “Tabla comparativa entre los estándares de video según los resultados obtenidos en MatLabR2018a dentro del estudio de las metodologías matemáticas para mejorar la compresión y calidad de imagen”.

Al lograr mejorar la compresión de datos con calidad de imágenes y mínima pérdida de información con las metodologías adecuadas, como las anteriormente señaladas, se consiguió optimizar los servicios de transmisión de datos y aplicaciones como: los sistemas de video-vigilancia, televisión en tiempo real, tarjetas de codificación de video, consolas de video juegos, y similares.

RECOMENDACIONES

- Continuar con el estudio y análisis del estándar de video H.265 ya que esto contribuiría a mejorar la calidad de señal y video con imágenes en movimiento 3D.
- Seguir utilizando el simulador MatLab como herramienta de recolección de datos porque con esta se obtiene los datos más precisos cuando se compara diferentes niveles jerárquicos de códec. de audio y video.
- Utilizar siempre filtros digitales después de comprimir la señal portadora ya que éstos son más robustos y nos dan fiabilidad de información con menos cantidad de errores.
- El tamaño y la capacidad de datos de transmisión juegan un papel preponderante frente a la necesidad del usuario final, el cual demanda progresivamente mejor calidad de servicio, por lo que siempre tenemos que estar a la expectativa y en la búsqueda de métodos eficientes de procesamiento de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcácer, A. (2018). Tesis. *Algunas Técnicas Matemáticas en la Compresión de Datos y Aplicación en Imágenes Digitales*. Universidad de Jaume I.

Aledo, D. (2016). Tesis. *Compresión de Imágenes Optimizada al Consumo de Redes Inalámbricas*. Universidad Politécnica de Madrid.

Dony, R. & Haykin, S. (1995). *Neuronal network approaches to image compression*. Proceedings of the IEEE. Vol. 83, No. 2, pp. 288-303.

López, S. (2018). Tesis. *Evaluación de la transmisión de flujos de video codificados de acuerdo con el estándar H.265/HEVC*. Universidad de Santo Tomás de Bucaramanga.

Mastriani, M. (2013). Tesis. *Supercompresión de Video y Aplicaciones*. Universidad General de Sarmiento.

Oliva, F. (2013). Tesis. *Estudio e Implementación de Enlaces Vía Video Streaming para Televisión en Internet*. Universidad Austral de Chile.

Pescador, F., Juárez, E., Lobo, P. & Sanz, C. (2011). *Distortion Energy Analysis on a OMAP Based H.264/SVC Decoder*. pp. 6-8.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Contribución en las Metodologías Matemáticas para Mejorar la Compresión de Video Bajo el Estándar H.264 AVC

Autor: Ing. Jorge Luis Robles Bokun.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	HIPÓTESIS NULA	HIPÓTESIS ALTERNATIVA	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
Principal	General	Principal (investigación)	(H ₀)	(H _a)		
¿Es posible realizar una investigación de las metodologías matemáticas para mejorar la compresión de información?	Realizar una investigación de las metodologías matemáticas para mejorar la compresión de información.	Realizando una investigación de las metodologías matemáticas mejorará la compresión de información.	Realizando una investigación de las metodologías matemáticas no mejorará la compresión de información.	Realizando una investigación de las metodologías matemáticas mejorará por lo menos el 15% de la compresión de información.	Metodologías matemáticas	Compresión de información
Secundarios	Específicos	Secundarias o subsidiarias				
¿Se puede estudiar la codificación por transformada a fin de mejorar la calidad de imágenes?	Estudiar la codificación por transformada a fin de mejorar la calidad de imágenes.	El estudio de la codificación por transformada ayudará a mejorar la calidad de imágenes.	El estudio de la codificación por transformada no ayudará a mejorar la calidad de imágenes.	El estudio de la codificación por transformada ayudará a mejorar por lo menos el 15% de la calidad de imágenes.	Codificación por transformada	Calidad de imágenes
¿Es posible comparar los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión para disminuir el retardo o jitter?	Comparar los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión para disminuir el retardo o jitter.	La comparación de los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión disminuirá el retardo o jitter	La comparación de los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión no disminuirá el retardo o jitter.	La comparación de los códec de video que aumenta la velocidad de transmisión disminuirá por lo menos el 20% del retardo o jitter.	Comparación códec de video	retardo o jitter
¿Es factible analizar la codificación VLC para aumentar la capacidad de data?	Analizar la codificación VLC para aumentar la capacidad de data.	El análisis de la codificación VLC aumentará la capacidad de data.	El análisis de la codificación VLC no aumentará la capacidad de data.	El análisis de la codificación VLC aumentará por lo menos el 15% de la capacidad de data.	Codificación VLC	Capacidad de data
¿Es realizable evaluar la implementación de filtros para obtener mayor fiabilidad de la información?	Evaluar la implementación de filtros para obtener mayor fiabilidad de la información.	Evaluando la implementación de filtros se obtendrá mayor fiabilidad de la información.	Evaluando la implementación de filtros no se obtendrá mayor fiabilidad de la información.	Evaluando la implementación de filtros se obtendrá por lo menos 20% mayor fiabilidad de la información.	Implementación de filtros	Fiabilidad de información

ANEXO 2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TRI CASTER SERIE8000

Canales del switcher	24 - 10 botoneras externas, 6 internas, 8 M/E
Entrada de video	8 fuentes de video en vivo en simultáneo, configurables como SDI, entradas analógicas o de router, en cualquier combinación de conexiones y resoluciones HD-SDI, Componente HD, SD-SDI, Componente SD, Y/C (BNC) o Compuesta
Fuentes de red	2 fuentes en vivo mediante conexiones Gigabit, seleccionables desde cualquier computadora en red o dispositivo Apple® AirPlay®
Multimedia	6 fuentes multimedia digitales integradas para video, gráficos y sonidos
Frame buffer	9 canales para gráficos estáticos o carpeta de visualización
Botonera de mezcla/efectos (M/E)	8 M/E con re-ingreso y posición, escala, recorte, keying, transiciones independientes en 3D y controles Proc Amp
Macro	Grabe las secuencias de operación y adjúntelas a los atajos de teclado, acciones de superficie de control o hotspots en pantalla
DSK	4 canales DSK primarios y 4 capas de overlay por botonera M/E, cada uno con controles de transición independientes, posición, escala y recorte en 3D y efectos TransWarp integrados
Efectos y transiciones	El mejor de efectos TransWarp en todos los canales de efectos es compatible con transiciones estándar, transiciones de almacén de animación personalizadas con audio y efectos de overlay - Animation Store Creator para animaciones personalizadas - Compatible con blending alta por píxel entre fuentes y warping en 3D en tiempo real de videos o gráficos
Seta virtuales	24 setas virtuales en vivo en HD con configuraciones predeterminadas, múltiples ángulos de cámaras, reflejos en tiempo real y momentos destacados especulares - Paneo en vivo y zoom de cámaras virtuales y configuraciones predeterminadas de cámaras virtuales personalizables con movimientos animados, paneo, zoom y pedestales
Hotspots	Hasta 8 hotspots interactivos libremente configurables por entrada
Salida de video	Hasta 14 conexiones configurables y 8 señales de salida de A/V - Formatos de salida de mezcla y coincidencia, conexiones y resoluciones - HD-SDI, Componente HD, SD-SDI, Componente SD, Y/C (BNC) o Compuesto - HDMI y VGA para visualizaciones o proyectores adicionales - Salida de red para streaming en vivo y/o salida de A/V enviada a un TriCaster conectado a la red
Grabación	Grabación de múltiples pistas multiformato de hasta 8 canales en simultáneo mediante la tecnología IsoCorder™ - Grabación nativa en hasta 1080p con código de tiempo
Capacidad de grabación	- 50 horas en 1080i o - 300 horas en 480i 4 compartimientos extraíbles sin bandeja para unidades de disco SATA III con soporte hot-swap para almacenamiento y backup ilimitados
Publicación en medios sociales	Aplicación integrada para carga de contenido a YouTube™, Facebook, Twitter™, Flickr®, FTP o servidores de red
Streaming en vivo	Streaming en vivo en HD mediante conexión Gigabit con configuraciones predeterminadas en hasta 720p, compatibles con los perfiles de streaming más comunes y perfiles de streaming personalizados MBR, configurados mediante los complementos basados en un explorador, conexiones de Adobe® Flash® a Flash Media Server o Microsoft® Windows Media® Push/Pull - Asistente de Perfiles de Streaming con explorador web integrado y complemento Livestream® integrado
Entradas de video	8 SDI Embedded 8 AES3/EBU 8 x 2 Balanced XLR (Microfono/Linea) Soporte de alimentación Phantom
Salidas de audio	3 SDI Embedded 2 AES3/EBU 4 Balanced XLR 4 Balanced XLR (AUX) 1 Stereo 1/4" (auriculares)
Mezclado de audio	Mezclador de audio multicanal integrado para fuentes de audio internas y externas, salidas, stream y auriculares - Ecualizador de siete bandas y compresor/limitador full stereo por entrada y salida - Entradas de audio digitales equipadas con sincronizadores de audio basados en tiempo - Compatible con la aplicación de mezclado de audio de compañía de iPad y superficies de control de audio de la serie Avid® Artist
Formatos compatibles	NTSC: 1080/30p, 1080/24p, 1080/60i, 720/60p, 720/30p, 720/24p, 480/60i Multestandar: NTSC-J, PAL, 1080/25p, 1080/50i, 720/50p, 720/25p, 576/25k
Formatos multimedia de reproducción	AVI, DV, DVCPro, DVCProHD, FLV, F4V, H.263, H.264, MOV, MKV, MJPEG, MPEG (1, 2, todos los streams de perfiles, programas o transporte), MP4, WMV, WebM, PSD, PNG, TGA, BMP, JPEG, EXR, RAW, TIF, AIF, MP3, WAV, y más, con la aplicación de Import Media para importación de lotes con transcodificación opcional de archivos (que incluye Apple ProRes) - Codecs de NewTek SpeedHQ para Mac y PC para compatibilidad de archivos extendida con TriCaster y las aplicaciones de sistema
Formatos multimedia de exportación	Aplicación para exportar multimedia para el copiado de lotes con transcodificación opcional de archivos a formatos compatibles para diferentes aplicaciones y dispositivos: AVI, DV, DVCPro, DVD, H.264, MOV, MPEG-2, MJPEG, MP4, WebM y más - Configuraciones predeterminadas para NLE: Adobe Premiere®, Avid® Media Composer®, Apple® Final Cut Pro® y más - Configuraciones predeterminadas para plataformas móviles: Android®, iPad®, iPhone®, iPod Touch® y más
Monitoreo	Libremente configurable para cualquier combinación de fuentes de entrada, programas, vistas previas, botoneras M/E, relojes e imágenes
Monitoreo de señales	Waveform y Vectorscope integrado, velocidad de campo completa con previsualización de colores y apoyo para recomendaciones UIT-R, 601 y 709
Procesamiento	Video: 4:4:4, punto flotante de 32 bits Audio: 4 canales, 96 kHz, punto flotante de 32 bits
Físico	4U Montaje de racks con 550W redundante, suministro eléctrico extraíble y hardware de superposición de varios niveles y software contra errores 19 x 7.25 x 21.5 in / 42 lbs (48.3 x 18.4 x 54.6 cm / 19 kg)

Fuente. Recuperado de <http://www.conceptoweb-studio.com/tricaster/tricaster8000/tri800.pdf>