

Universidad Católica  
ANDRÉS BELLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES



**DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PILOTO PARA EL ENVÍO  
DE IMÁGENES MÉDICAS SOBRE CANALES DE COMUNICACIÓN DE  
CAPACIDADES LIMITADAS.**

PROPUESTA DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentada ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**REALIZADO POR**

Giselle A. Arrioja H

Fabiana S. Romero G

**TUTOR**

Ing. Luis Fernández

**FECHA**

Caracas, Marzo de 2013.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

**DEDICATORIA**

*A mis padres, por ser pilar fundamental en mi vida y por todo el esfuerzo realizado  
para que yo pudiese cumplir esta meta.*

*Giselle Arrijo Horie*

*A mis padres, a mis hermanos y a mi familia por estar siempre presente en todo  
momento de mi vida, especialmente durante la realización de esta meta.*

*Fabiana S. Romero G.*

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

**AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la oportunidad de vivir y de alcanzar esta meta.

A toda mi familia, que de alguna manera colaboraron durante mi formación académica, en especial a mis padres, que a pesar de la distancia me brindaron en todo momento las fuerzas, el cariño y el apoyo necesario para continuar este largo camino.

A Julio Solarte, por toda la ayuda, paciencia, dedicación, y sabiduría brindada durante la realización de este proyecto. Sinceramente, mil gracias, no hubiese sido posible sin ti.

Y por último, a grandes personas que estuvieron en todo momento ofreciéndome su apoyo, amistad, conocimientos y disposición a lo largo de esta carrera universitaria, Fabiana Romero y Guillermo Pocovi.

Giselle A. Arrijoja H.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

**AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado durante toda mi vida, por ser mi fortaleza en todo momento y por brindarme una vida llena de experiencias y aprendizajes.

Le doy gracias a mis padres Luis y Thaiscelena por apoyarme en todo momento, por la excelente educación brindada a lo largo de mi vida y sobre todo por ser un excelente ejemplo a seguir.

A mis hermanos Luis Gabriel y Arianna por ser parte fundamental de mi vida, llenándola de experiencias, peleas y amor.

Gracias infinitas a Julio Solarte por ser un amigo incondicional, que nos apoyó a lo largo de toda la carrera, pero especialmente durante la realización de este proyecto, brindándonos confianza y conocimientos. Eres lo máximo.

A amistades que marcaron una diferencia a lo largo de mi carrera universitaria, Guillermo Pocovi, Vanessa Seijas, Nelson Esteves y especialmente Giselle Arrijoa por ser una excelente compañera de tesis y haberme tenido la paciencia necesaria.

Y por ultimo a todos aquellos familiares y amigos que no puedo nombrar porque la lista es larga, pero que de igual manera forman parte de mi vida y siempre están allí.

Gracias.

Fabiana S. Romero G.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

### **RESUMEN**

El acceso a la salud no llega a todos por diversas razones. En las zonas rurales del país este acceso se ve aún más afectado por la escasa presencia de centros especializados y de profesionales de la salud que brinden un diagnóstico médico eficiente. Dada esta situación la Universidad Central de Venezuela diseñó un programa denominado “SOS Telemedicina para Venezuela”, para prestar servicios médicos a distancia. Uno de los servicios más usados en Telemedicina es el intercambio de imágenes de un centro a otro para obtener una segunda opinión, pero en éstos por lo general el medio de transmisión es a través de módems inalámbricos, que por su ancho de banda estrecho limita la transmisión de imágenes. En la presente investigación se propuso el desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

Para llevar a cabo la creación del piloto, se consideró en primer lugar y como punto más importante el estudio de la Transformada de Wavelet y la Transformada Coseno Discreta, con la finalidad de desarrollar e implementar a través de alguna de ellas los algoritmos de Resolución Progresiva y ROI como mecanismos de transmisión de imágenes en un ambiente simulado, y de esta manera reducir la ocupación de la información dentro de un canal de capacidades limitadas como lo son las conexiones inalámbricas, a fin de acortar el tiempo en el que se ofrece un diagnóstico médico.

De lo descrito anteriormente se concluye que el sistema desarrollado ofrece una alternativa a la problemática que presentan determinadas zonas lejanas a servicios médicos de calidad, brindándole la posibilidad a pacientes de obtener un diagnóstico médico de parte de un especialista que facilite un tratamiento adecuado y efectivo. Palabras claves: Transmisión de imágenes, Resolución Progresiva, ROI, Transformada de Wavelet, Transformada Coseno Discreta.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

**ABSTRACT**

For different reasons the access to health does not reach to all, in rural areas of the country that access is further affected by the scarcity of specialized centers and health professionals to provide efficient medical diagnosis, given this situation the Universidad Central de Venezuela designed a program called “SOS (Segunda Opinión en salud) Telemedicina para Venezuela”, to provide remote medical services. One of the most used services in Telemedicine is the exchange of images from one center to another to get a second opinion, but in these rural centers usually the means of transmission is through wireless modem, which limits image transmission, in the present investigation was to develop and implement a pilot for sending medical images over communication channels with limited capabilities.

To carry out the creation of the pilot, it was felt in first place and most important point of the study the Wavelet Transform and Discrete Cosine Transform, in order to develop and implement through some of these algorithms of Progressive Resolution and ROI(Region of Interest), like mechanisms of image transmission in a simulated environment, and thus reduce the occupancy of the information within a transmission channel with limited capabilities such as wireless connections, in order to shorten the time in which provides a medical diagnosis.

To the above it is concluded the developed system provides an alternative to the problems that exist in certain areas far from quality medical care, giving patients the chance to get a medical diagnosis from a specialist to provide adequate and effective treatment.

Keywords: Progressive Resolution, ROI, medical imaging, Wavelet Transform, Discrete Cosine Transform.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

**INDICE GENERAL**

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE GENERAL .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO.....</b>	<b>1</b>
I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
I.2. OBJETIVOS.....	4
<i>Objetivo General</i> .....	4
<i>Objetivos Específicos</i> .....	4
I.3. ALCANCES .....	5
I.4. LIMITACIONES .....	5
I.5. JUSTIFICACIÓN.....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
II.1. ANTECEDENTES .....	7
II.2. TELEMEDICINA .....	8
II.3. IMÁGENES.....	10
II.4 TRANSMISIÓN DE LAS IMÁGENES.....	10
<i>II.4.1 Resolución Progresiva</i> .....	11
<i>II.4.2 ROI (Region of Interest)</i> .....	12
II.5. TRANSFORMADAS.....	14
<i>II.5.1 DCT (Discrete Cosine Transform)</i> .....	15
II.5.1.1 Transformada DCT .....	15
II.5.1.2 Cuantificación .....	18

# Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

II.5.1.3 Codificación.....	18
II.5.2 Wavelet.....	19
II.5.2.1 Antecedentes.....	19
II.5.2.2 WT (Wavelet Transform).....	20
II.5.2.2.1 Transformada Discreta Wavelet (DWT).....	22
II.5.2.2.1.1 DWT en una dimensión (1D-DWT). ....	22
II.5.2.2.1.2 DWT en dos dimensiones (2D-DWT). ....	24
II.6. COMPRESIÓN DIGITAL.....	28
II.6.1 Compresión de imágenes sin pérdidas.....	29
II.6.2 Compresión de imágenes con pérdidas .....	29
II.6.2.1 JPEG .....	29
II.6.2.2 JPEG2000 .....	31
II.7. PROCESO OJO-VISTA-CEREBRO .....	32
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>40</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>40</b>
FASE I: INVESTIGACIÓN Y RECOPIACIÓN DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.....	40
FASE II: ESTUDIO DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN .....	40
FASE III: DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.....	41
FASE IV: CREACIÓN DEL PILOTO.....	41
FASE V: PRUEBA DEL PILOTO.....	42
FASE VI: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	42
FASE VII: REDACCIÓN Y ELABORACIÓN DEL TOMO .....	42
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>43</b>
<b>DESARROLLO.....</b>	<b>43</b>
FASE I: INVESTIGACIÓN Y RECOPIACIÓN DE MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.....	43
FASE II: ESTUDIO DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN .....	43
FASE III: DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN.....	44
FASE IV: CREACIÓN DEL PILOTO.....	44
FASE V: PRUEBA DEL PILOTO .....	53
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>55</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>

# Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

V.1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PILOTO.....	55
V.1.1 Servidor.....	55
V.1.2 Cliente.....	57
V.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DE PRUEBA .....	59
V.3. PRUEBAS DE TRANSMISIÓN.....	60
V.3.1 Modo de conexión: Cable de Red.....	62
V.3.2 Modo de conexión: Red Móvil – Red Fija.....	64
V.3.3 Modo de conexión: Red Móvil – Red Móvil.....	66
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
VI.1 CONCLUSIONES .....	72
VI.2 RECOMENDACIONES.....	74
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>75</b>
<b>APENDICES .....</b>	<b>78</b>
<b>APENDICE A: MANUAL DE USUARIO. ....</b>	<b>79</b>

# Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 :</b> RESOLUCIÓN PROGRESIVA EN 3 NIVELES .....	12
<b>FIGURA 2 :</b> ADMINISTRACIÓN DE NIVELES DE CALIDAD A TRAVÉS DE MÉTODOS ROI. (A) CODIFICACIÓN ESTÁNDAR EN CANAL LIBRE (B) CODIFICACIÓN ESTÁNDAR SOBRE CANAL DE ANCHO DE BANDA LIMITADO. (C) CODIFICACIÓN BASADA EN ROI CON UN ÁREA DE INTERÉS EN ALTA RESOLUCIÓN Y FONDO DE BAJA CALIDAD SOBRE EL CANAL CON ANCHO DE BANDA LIMITADO.....	14
<b>FIGURA 3:</b> DIVISIÓN DE BLOQUES EN DCT EN EL DOMINIO DEL ESPACIO.....	17
<b>FIGURA 4:</b> REPRESENTACIÓN EN EL DOMINIO DEL ESPACIO Y DE LAS FRECUENCIAS.....	17
<b>FIGURA 5:</b> BARRIDO O EXPLORACIÓN ZIG-ZAG.....	19
<b>FIGURA 6:</b> DIAGRAMA DE DESCOMPOSICIÓN DE SEÑALES.....	23
<b>FIGURA 7:</b> ÁRBOL DE DESCOMPOSICIÓN WAVELET.....	24
<b>FIGURA 8:</b> TRANSFORMADA BIDIMENSIONAL DE WAVELET PARA UN NIVEL.....	25
<b>FIGURA 9:</b> COEFICIENTES WAVELET EN EL NIVEL 1 AL APLICAR LA 2D-DWT .....	26
<b>FIGURA 10:</b> COEFICIENTES WAVELET EN EL NIVEL 2 AL APLICAR LA 2D-DWT .....	27
<b>FIGURA 11:</b> ESQUEMA DE COMPRESIÓN/DESCOMPRESIÓN JPEG.....	31
<b>FIGURA 12:</b> ESTRUCTURA DEL OJO HUMANO .....	33
<b>FIGURA 13:</b> ESTRUCTURA DE BASTONES Y CONOS.....	34
<b>FIGURA 14:</b> CONEXIÓN OJO-CEREBRO .....	35
<b>FIGURA 15:</b> PARTES DE UNA NEURONA .....	36
<b>FIGURA16:</b> REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS COEFICIENTES WAVELET.....	48
<b>FIGURA 17:</b> REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS COEFICIENTES WAVELET.....	49
<b>FIGURA 18:</b> ÚLTIMOS CUATRO COEFICIENTES DE APROXIMACIÓN DEL ÁRBOL DE DESCOMPOSICIÓN PARA 8 NIVELES .....	50
<b>FIGURA 19:</b> DIAGRAMA DE FLUJO DEL SERVIDOR.....	56
<b>FIGURA 20:</b> DIAGRAMA DE FLUJO DEL CLIENTE .....	58

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>TABLA 1:</b> CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CÁMARAS .....	45
<b>TABLA 2:</b> CARACTERÍSTICAS DE LAS IMÁGENES DE PRUEBA.....	59
<b>TABLA 3:</b> CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA 1.....	60
<b>TABLA 4:</b> CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA 2.....	61
<b>TABLA 5:</b> CARACTERÍSTICAS DEL MODEM 1 .....	61
<b>TABLA 6:</b> CARACTERÍSTICAS DEL MODEM 2 .....	62
<b>TABLA 7:</b> TIEMPOS DE TRANSMISIÓN DE LAS IMÁGENES MEDIANTE UN CABLE DE RED.....	63
<b>TABLA 8:</b> TIEMPO DE TRANSMISIÓN DE LAS IMÁGENES ENTRE UNA RED MÓVIL Y UNA RED FIJA.....	65
<b>TABLA 9:</b> TIEMPO DE TRANSMISIÓN DE LAS IMÁGENES ENTRE REDES MÓVILES .....	67

# **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

## **INTRODUCCIÓN**

Desde inicios de la especie, la comunicación fue evolucionando hasta llegar a la más sofisticada tecnología, con el objetivo de acercar espacios y tener mayor velocidad en el proceso. Esta evolución dió lugar a las Telecomunicaciones, que no es más que comunicación a distancia.

El acelerado crecimiento de la población, y con ello las múltiples necesidades de los usuarios, han conllevado a un constante desarrollo tecnológico de las Telecomunicaciones digitales, de donde han surgido diversas aplicaciones en áreas científicas, específicamente en el área de la medicina, que ha desarrollado nuevas estrategias para el diagnóstico y consultas a distancia, con el objetivo de crear nuevos modelos de asistencia médica. Esta combinación de tecnologías con medicina, dió lugar a lo que hoy en día se conoce como Telemedicina.

Aún cuando las primeras teorías referentes a la Telemedicina nacen en el siglo XX, los estudios y trabajos más relevantes han sido desarrollados durante los últimos 30 años, destacándose la verdadera importancia desde los años 90 con la explotación de las Telecomunicaciones.

La Telemedicina nació principalmente para satisfacer las necesidades que presentan las comunidades de lugares alejados de las grandes ciudades pues la mayoría no cuentan con centros asistenciales completamente equipados con diversas especialidades de medicina, o en su defecto hay ausencia total de éstos, por lo que se crearon alternativas para intercambiar información médica a través de medios electromagnéticos entre personal especializado ubicados en puntos geográficamente distanciados, con el fin de brindar servicios eficientes, seguros y rápidos a los pacientes, disminuyendo los riesgos médicos que presentan éstos al trasladarse a los centros de las grandes ciudades, que en algunos casos pueden ocasionar la muerte. En pocas palabras, el objetivo principal de la Telemedicina, es ofrecer servicios médicos

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

a pacientes localizados en cualquier parte del mundo en su mayoría privados de atención alguna, a un bajo costo, y que a su vez sea de alta calidad.

Debido a las numerosas áreas de salud existentes hoy en día, han surgido por ende aplicaciones de la Telemedicina para dar abasto y ofrecer servicios a una mayor cantidad de situaciones, enfermedades, y diagnósticos de cualquier índole. Entre dichas aplicaciones se encuentra la tele-patología, tele-radiología, tele-citología, tele-cardiología, tele-cirugía, tele-psiquiatría, entre otros. La mayoría de ellas, manejan y brindan sus servicios principalmente a través de imágenes médicas estáticas (tele-asistencia), imágenes dinámicas, videoconferencia, acceso a base de datos electrónicos, o consultando sistemas expertos.

El presente proyecto se encuentra distribuido en seis capítulos, organizados de la siguiente manera: en el *capítulo I* se expone el planteamiento del proyecto, el cual incluye planteamiento del problema, objetivos, alcances, limitaciones y justificación. En el *capítulo II* se presenta el marco teórico donde se presentan algunos antecedentes del tema, y seguidamente la información conceptual que sustenta el desarrollo del proyecto. Luego, el *capítulo III* describe en detalle los métodos utilizados para llevar a cabo la realización del proyecto, explicados en distintas fases de investigación. El *capítulo IV* contempla el desarrollo de cada actividad, técnica, y procedimiento aplicado en cada una de las fases. El *capítulo V* muestra los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto. Y por último el *capítulo VI*, se presentan las conclusiones y recomendaciones una vez analizados los resultados logrados en el capítulo anterior.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO**

En el presente Capítulo se explica en forma general el proyecto a desarrollar en el área de Telemedicina, el problema que se desea solventar, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación e importancia de su ejecución, así como también el alcance y las limitaciones en su elaboración.

#### **I.1. Planteamiento del Problema**

Hoy en día, se puede observar con claridad que con el aumento constante y disperso de la población y por ende de diferentes necesidades, la exploración de nuevos objetivos tecnológicos y el aprovechamiento de tecnologías ya existentes ha originado un crecimiento en el campo de las Telecomunicaciones, no solo en lo social, cultural y político, sino también en el área de la salud.

Por consiguiente, en la actualidad existe un gran interés en áreas como la Telemedicina, que según la Comisión Europea (EC) consiste en el despliegue de información y de tecnologías de Telecomunicaciones que permita compartir de manera remota información médica relevante como la historia médica y de manera deseable mas no limitante la transmisión de imágenes desde un sitio remoto, sin importar la ubicación del paciente.

Existen diferentes maneras de practicar la Telemedicina, las cuales van desde una simple conversación telefónica entre dos médicos en labor, una transmisión en vivo de una operación en un quirófano de un Hospital Universitario para el aprendizaje y evaluación de los estudiantes en curso, u otras aplicaciones que requieren de un equipamiento tan sofisticado como el uso de sistemas satelitales en zonas alejadas a cualquier otro tipo de comunicación. En fin, la Telemedicina puede ser aplicada en muchas formas y cada una tiene sus requerimientos y condiciones que

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

deben ser consideradas al momento de su implementación. Las principales consideraciones en la Telemedicina son: las facilidades que con ella se quieren conseguir, el tipo de datos a ser transmitidos y la tecnología a ser utilizada para su transmisión.

Sin embargo, las tecnologías de comunicación existentes presentan en algunos casos limitaciones importantes de ancho de banda, confiabilidad, y retardos, lo que significa un grave problema en un determinado diagnóstico médico, cuando se requiere la transmisión de imágenes u otro tipo de información desde un sitio remoto donde por lo general se cuenta con médicos en etapas de pasantías rurales que necesita el apoyo de un personal especializado, para de esta forma esperar una respuesta que permita lograr la salud del paciente.

Existen hoy en día comunidades apartadas de la geografía nacional que no disponen de sistemas de comunicaciones digitales de banda ancha que garanticen la correcta transmisión de imágenes médicas. La situación más favorable ocurre cuando se dispone de servicio ABA, pero este servicio rara vez se dispone en comunidades rurales sino más bien en las ciudades. La alternativa que se ha venido empleando es utilizar sistemas de comunicaciones inalámbricos tales como el BAM de Digitel y los equivalentes en Movistar y Movilnet. Estos canales tienen en general un ancho de banda menor y altas tasas de errores y variabilidad en los tiempos de llegada de las imágenes. Esto puede ocasionar que el tiempo de transmisión requerido para el envío de imágenes con la calidad necesaria para ser de utilidad en el campo médico puede ser muy grande, lo que puede dificultar el diagnóstico sobre todo cuando se requiere no una sino varias imágenes.

Por ello, se requiere investigar diversas alternativas para el envío de imágenes con contenido médico desde las comunidades anteriormente descritas. Dentro de las alternativas para el envío de estas imágenes se plantea el paradigma de reducir el contenido a enviar ya sea limitando la resolución de las mismas o el tamaño de la

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

imagen propiamente dicha. La idea es enviar solamente la cantidad de información estrictamente necesaria para ser de utilidad en el diagnóstico, para lo cual el sistema debe ser interactivo de manera que una vez que se haya recibido una resolución aceptable de la imagen el médico pueda detectar y seleccionar la región de ésta que le interesa. Entre muchas opciones, se desea estudiar el comportamiento de dos algoritmos, llamados "Resolución Progresiva" y "ROI" (Region of Interest), Región de Interés. Ambas se fundamentan en una arquitectura cliente-servidor en el cual el sitio remoto se convierte en el servidor de la información y el lado del médico es la aplicación cliente que va demandando del servidor las porciones de imagen requerida. La transmisión de estos trozos de información debe ser robusta para soportar las inclemencias de un medio hostil como lo es la conexión inalámbrica.

En Venezuela una de las instituciones que ha impulsado la Telemedicina es la Universidad Central de Venezuela, a través de la Facultad de Medicina, quien lleva a cabo el proyecto denominado "SOS Telemedicina para Venezuela". Por medio de este proyecto se brindan: a) servicios de teleconsulta y telediagnóstico; b) Educación a distancia; c) Acceso a bibliotecas virtuales de salud; d) Educación en salud a las comunidades. Para los casos concretos de teleconsulta y telediagnósticos se hace necesario el envío de imágenes, pero en la mayoría en estos centros rurales los medios de transmisión no son estables, lo que afecta considerablemente este proceso, el presente trabajo Especial de Grado contribuye con dicho grupo de investigación, proporcionando alternativas de comunicación a las comunidades rurales que son atendidas por este proyecto, por lo que se desprenden los siguientes objetivos.

# **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

## **I.2. Objetivos**

### **Objetivo General**

Implementar un piloto de comunicación que permita probar dos paradigmas de transmisión de imágenes médicas basados en una arquitectura cliente-servidor.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar los métodos de transmisión de imágenes, en particular los basados en Transformadas Ondículas (Wavelets) y en Transformada Coseno Discreta (DCT).
- Investigar sobre los requerimientos que imponen dichos métodos sobre los canales de comunicaciones.
- Investigar sobre las degradaciones que sufren las imágenes como consecuencia de las limitaciones en el canal de comunicaciones, en particular las referentes a un ancho de banda estrecho, latencia, jitter y pérdidas de paquetes.
- Desarrollar una estrategia de comunicaciones que permita incrementar la robustez en la transmisión de imágenes sobre dichos canales.
- Implementar los algoritmos de "Resolución Progresiva" y de ROI en un ambiente simulado (por ejemplo con Matlab o Labview) utilizando una arquitectura cliente-servidor, con previa investigación acerca de los algoritmos.
- Crear un piloto real entre dos computadoras interconectadas a través de módems inalámbricos de cualquiera de las tres operadoras de telefonía celular existentes en Venezuela, bajo las plataformas HSDPA (High Speed Downlink Packet), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), GPRS (General Packet Radio Service) o 3G (Tercera Generación)

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

- Analizar los resultados obtenidos para determinar si las tecnologías propuestas son las más convenientes para ser utilizadas en el proyecto "SOS Telemedicina para Venezuela".

### **I.3. Alcances**

Este trabajo especial de grado incluirá, el desarrollo de un piloto que permita la comunicación en un modelo cliente-servidor para la transmisión de imágenes en formato JPEG con contenido médico.

### **I.4. Limitaciones**

El proyecto se limita al estudio de los algoritmos basados en las transformadas ondículas (Wavelets) y en las Transformadas Coseno Discreta (DCT), para estudiar los comportamientos denominados “Resolución Progresiva” y “ROI” (Region of interest – Región de Interés). Las simulaciones se realizarán en computadoras que tengan las licencias de los simuladores requeridos. Sin embargo los algoritmos a desarrollar para los pilotos deben ser realizados en software abierto para no tener limitaciones de licencia. Aunque el tema estará orientado a su utilización en la Facultad de Medicina de la UCV no se requiere la presencia constante de los estudios en la misma, aunque se dispondrá de toda la asesoría que se requiera para la ejecución.

### **I.5. Justificación**

El constante desarrollo de la tecnología que se vive hoy en día juega un papel indispensable en muchas especialidades, mayormente en el área de la salud, ya que a través de numerosas innovaciones tecnológicas existentes se puede lograr el acercamiento con poblaciones dispuestas en lugares alejados de las grandes ciudades.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

En la actualidad, existen diversos motivos que justifican la expansión y el uso de la Telemedicina en zonas rurales, principalmente se debe al difícil traslado de pacientes hacia centros urbanos, por la escasa presencia de profesionales especializados en diversas áreas médicas.

Por tal razón, los centros de salud de atención primaria en poblaciones de baja densidad presentan deficiencias e inconvenientes que en ciertos casos requieren de una opinión o ayuda de algún centro especializado siendo importante la existencia de una conexión confiable e inmediata para intercambiar información entre ambos. Para atender este problema, la organización “SOS Telemedicina para Venezuela” de la UCV, en su posición como fiel facilitadora de mejoras tecnológicas en el área medicinal en poblaciones rurales, considera necesario la creación de un proyecto piloto que permita el envío de imágenes médicas entre dos centros de salud a través de conexiones inalámbricas. Todo ello, con el objetivo de que un profesional especializado al recibir la imagen brinde su máximo apoyo a un centro ubicado en poblaciones remotas ofreciéndole un diagnóstico confiable al paciente, y así evitar los riesgos que podría acarrear algún traslado o aún peor un diagnóstico incorrecto.

De igual modo, es necesario crear una estrategia robusta que permita superar las adversidades que se presentan en un canal con conexiones inalámbricas, con la finalidad de garantizar que la imagen al completar su trayecto no presente modificaciones que la desvíen de su originalidad.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este Capítulo se presenta la información conceptual necesaria para llevar a cabo el desarrollo del piloto para envío de imágenes médicas en el área de Telemedicina.

#### **II.1. Antecedentes**

En la última década los avances tecnológicos han venido tomando fuerza en el área de las Telecomunicaciones. Éstos han dado un impulso notorio a nuevos medios de comunicación, lo que moldea nuevos paradigmas en las relaciones de los individuos. Por ende, todo esto influye directamente sobre los servicios de la salud, específicamente en el área de la Telemedicina. Es por ello que al pasar de los años se han venido desarrollando estudios para el cuidado de la salud a distancia, en las que se involucra principalmente el desarrollo virtual de las bases de datos, las historias médicas, transmisión y archivo de imágenes, comprendiendo disciplinas que se alejan del concepto habitual de medicina. Esto involucra claramente la tecnología y las comunicaciones.

En el trabajo de “*Progressive Image Transmission for Medical Applications bases on Wavelet Transform with a Non-uniform Scalar Quantization Scheme*” (Lu Y., Zheng J., Jiang Y., et al 2006) introducen un nuevo algoritmo de Transmisión de Imagen Progresiva utilizando la transformada Wavelet en dos dimensiones, la cual permite almacenar datos de imágenes en el menor espacio posible, modulación por codificación de pulsos diferencial (DPCM) y un esquema de cuantización escalar no uniforme. Este esquema tiene la ventaja de su alto rendimiento y en su simple implementación. Un punto importante para la técnica de transmisión de imagen progresiva, es que se puede detener la recepción de la imagen al momento de alcanzar el grado de calidad requerido. [1]

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

En el trabajo de “*Multicarrier CDMA for Data Transmission over HF Channels: Application to Digital Divide Reduction. University of Trento. Trento, Italia.*” (DOrazio, L. Sacchi, C y De Natale, F. 2006) se estudia la técnica de espectro ensanchado como lo es MC-CDMA (Multi-Carrier Code Division Multiple Access), que consiste en transmitir, dentro del estándar de canalización para HF de 3kHz, todos los símbolos por todas las portadoras de manera simultánea utilizando un conjunto de códigos ortogonales de ensanchamiento. De esta manera, ante una situación adversa del canal donde se vea afectada alguna de las portadoras, la señal pueda ser recuperada mediante un adecuado procedimiento de reconstrucción. En su trabajo, diseñan una red de comunicaciones en HF (High Frequency) como la descrita anteriormente para comunicar a un hospital en la población de Sunyani, Ghana que sufre de carencias en servicios de Telecomunicaciones y hasta de energía eléctrica. Para su desarrollo, estimaron un ancho de banda que pudiera ser requerido por las comunicaciones del hospital de Sunyani y las poblaciones aledañas, tales como envío de mensajes cortos de alarmas con el estatus de la carga de las baterías solares, mensajes de texto cortos entre las localidades remotas y el hospital, así como mensajes más largos que pudieran contener archivos adjuntos para sustentar la información médica. El ancho de banda alcanzado fue de 14kb/s, el cual aparentemente no es soportado por los MÓDEMOS de HF que actualmente se ofrecen a nivel comercial. [1]

### **II.2. Telemedicina**

Telemedicina, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se define como:

“El suministro de servicios de atención sanitaria en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a tecnologías de la

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, preconizar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven”. OMS 1998 [2]

La esencia de un sistema de Telemedicina es la provisión de servicios multimedia en red para asistencia sanitaria; involucrando transferencia de audio, video, imágenes fijas, gráficos, datos y textos entre lugares distantes comunicando pacientes, médicos, profesionales sanitarios, e instituciones para diagnóstico, tratamiento, consulta y educación continua.

Lógicamente, las soluciones de la Telemedicina presentan elementos peculiares derivados de su entorno de aplicación médica, así como la multiplicidad de actores involucrados y la variedad de escenarios de uso. [3]

La Telemedicina tuvo sus comienzos en el tiempo en que la electrónica dió paso a las comunicaciones analógicas. Sin embargo, a raíz de los avances tecnológicos, la mayoría de las comunicaciones cambiaron de analógicas a digitales; y con ellas evolucionó la Telemedicina. A pesar de ser ambas muy diferentes entre sí, no existe un salto que haga distinción de estas dos, ya que varias de las formas de Telecomunicaciones que anteriormente eran analógicas han sido modificadas parcial o totalmente en transmisiones digitales.

Es indiscutible que la Telemedicina, mediante su constante evolución, ha tomado mayor utilidad e importancia en el mundo, dado que reduce los tiempos de atención, disminuye los costos de transporte, los tratamientos y diagnósticos son más acertados en localidades rurales con falta de médicos especialistas, mejora la calidad de servicio, entre otras ventajas.

### **II.3. Imágenes**

Una imagen monocroma o simplemente imagen puede variar en la apreciación que pueda tener un observador sobre ésta, pero en otro sentido está referida a una función bidimensional de intensidad de luz  $f(xy)$ , donde  $x$  y  $y$  representan las coordenadas espaciales y el valor de  $f$  en un punto cualquiera  $(x,y)$  es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto. [4]

Por otro lado, una imagen digital es aquella que se ha discretizado tanto en las coordenadas  $x,y$  como en los niveles de gris. Una imagen digital puede ser representada por una matriz, donde la posición de los elementos representan un punto de la imagen y el valor que tiene cada elemento de la matriz representa el nivel de gris en ese punto. A estos elementos también se les llama píxels o pels (derivado de la abreviatura del inglés picture elements). [5]

### **II.4 Transmisión de las imágenes**

Actualmente, el proceso de transmisión es uno de los pasos más importante durante el envío de imágenes digitales, pues se debe garantizar el intercambio eficiente y rápido de información de un lugar a otro, y aún más si se trata de imágenes médicas, pues la aparición de cualquier error en la recepción de los datos origina un diagnóstico errado que pone en peligro la vida del paciente.

Tradicionalmente, se utilizaban métodos de transmisión de imágenes donde los datos eran comprimidos antes de ser enviados, y una vez en el receptor eran descomprimidos. Esto supone una desventaja ya que era necesario recibir la cantidad completa de datos para poder realizar la reconstrucción total y de esta forma entregar la imagen al destino. Ante esto, se evolucionó una técnica de transmisión más efectiva, llamada Resolución Progresiva.

#### **II.4.1 Resolución Progresiva**

Este método consiste en transmitir una imagen en fragmentos sucesivos, de tal forma que el receptor pueda realizar una reconstrucción progresiva de cada fragmento entrante sin necesidad de recibir completamente los datos comprimidos para ejecutar la recuperación original, es decir, el usuario receptor recibirá una imagen de baja calidad que se va perfeccionando constantemente hasta llegar a la calidad que se desea.

Aunado al concepto anterior, se tienen otras definiciones tales como:

“El objetivo de una transmisión progresiva es reducir el tiempo subjetivo de carga de una imagen. Para ello, se utiliza el conocimiento sobre las características del sistema visual humano. En lugar de codificar la imagen dando prioridad a la resolución espacial, es decir, empezando por el primer pixel de la primera fila, pasando por todos los pixeles de una fila y así hasta llegar a la última fila, se trata de enviar una imagen de baja resolución espectral (es decir, de baja calidad perceptual) pero de resolución espacial completa, y luego ir refinando la resolución espectral hasta conseguir una calidad de imagen suficiente.” [6]. En la Figura 1 se puede observar un ejemplo de una transmisión con resolución progresiva con tres niveles de resolución espectral, donde primeramente se recibe una imagen de baja calidad, que será mejorada en una segunda fase hasta perfeccionarla en un tercer nivel logrando así obtener la imagen original con una mayor resolución.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---



**Figura 1 :** Resolución Progresiva en 3 niveles

Fuente: [7]

Esta técnica de transmisión es innovadora y beneficiosa, pues el usuario receptor puede decidir cuándo detener la imagen una vez que haya logrado identificar la parte de la imagen que desea, evitando así la innecesaria reconstrucción de todos los datos y ofreciendo un diagnóstico rápido y efectivo.

### **II.4.2 ROI (Region of Interest)**

Una ROI o Región de Interés consiste en analizar una porción determinada de una imagen realizando un filtrado o aplicando alguna operación sobre ésta. Existen casos en muchos ámbitos, y aún más en Telemedicina donde sólo importa una parte de la imagen por lo que se selecciona dicha sección dentro de un rectángulo de tal manera de reducir la ocupación en el canal que ocasiona la transmisión completa de la imagen y así se aumentará la calidad sólo en la porción de interés.

Este método se origina a partir de una transmisión progresiva, pues el usuario receptor cuando identifica la región que le interesa de la imagen tiene la potestad de escoger sólo la transmisión de la subimagen escogida, refinando la calidad de ésta y descartando el resto de la imagen.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

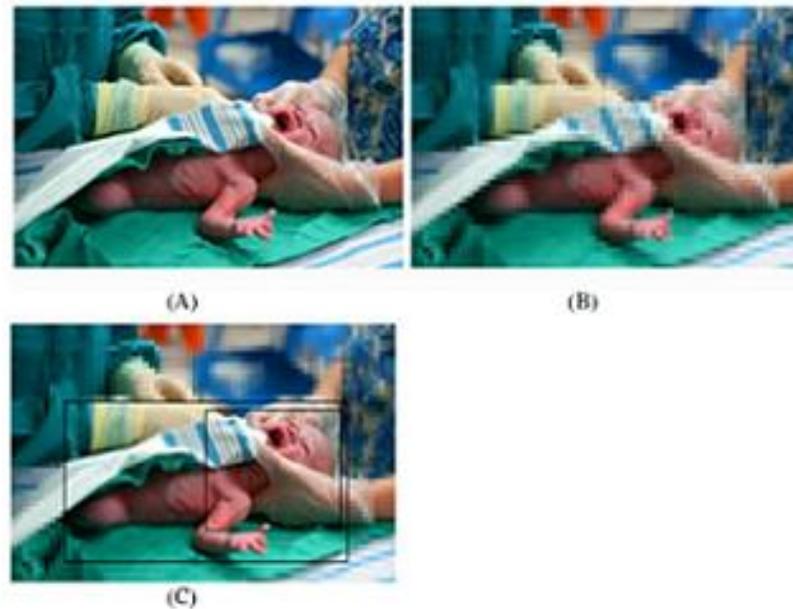
---

Las regiones de interés (ROIs) son zonas o detalles de una imagen (subimágenes) que llaman la atención del observador o a las que éste da una mayor importancia respecto al resto de la imagen. Esta mayor atención o tratamiento preferencial del observador sobre esa zona de la imagen puede considerarse como: solicitar más calidad o resolución de esa región o pedir prioridad en la transmisión progresiva de la imagen, es decir, que si se interrumpe la transmisión, se asegura que lo primero que se ha enviado haya sido esa región. [8]

En la Figura 2 se observa las diferencias entre una transmisión en un canal sin limitaciones de ancho de banda (Figura 2.a) y una transmisión en un canal de capacidades limitadas donde la imagen recibida muestra poca resolución (Figura 2.b). De igual manera, la Figura 2.c muestra un ejemplo de una transmisión progresiva en combinación con ROI, siendo ésta una alternativa dirigida a contrarrestar las limitaciones y variaciones de las tasas de transferencia de los sistemas. ROI otorga mayores tasas de transmisión por pixel de la región de interés en comparación con el resto de la imagen.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---



**Figura 2** : Administración de niveles de calidad a través de métodos ROI. (a) Codificación estándar en canal libre (b) Codificación estándar sobre canal de ancho de banda limitado. (c) Codificación basada en ROI con un área de interés en alta resolución y fondo de baja calidad sobre el canal con ancho de banda limitado.

Fuente: [9]

Para aplicar los métodos anteriores es necesario utilizar primeramente ciertos procedimientos a las imágenes, con la finalidad de analizar y seleccionar la información necesaria a través de métodos más eficientes para así iniciar su envío. Estos métodos son conocidos como transformadas matemáticas.

### II.5. Transformadas

De forma general, una transformada representa un cambio hacia un dominio diferente, que debido a sus propiedades, facilita de alguna forma la realización de

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

tareas determinadas. Este cambio puede caracterizarse mediante un operador, que genéricamente se denota como  $T(\cdot)$ . Al aplicar este operador a una señal  $f$ , se puede representar de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ccc} & T(\cdot) & \\ f & \longrightarrow & T(f) \\ & & \\ & T^{-1}(\cdot) & \\ T(f) & \longrightarrow & f \end{array}$$

Donde  $T^{-1}(\cdot)$  es la transformación inversa. [5]

### II.5.1 DCT (Discrete Cosine Transform)

La Transformada Coseno Discreta, representa a las diferentes muestras como una suma de funciones cosenoidales diferenciándose claramente de la Transformada de Fourier pues ésta utiliza funciones exponenciales. Al utilizar como bases sólo cosenos la DCT es una transformada real.

Para descomponer el conjunto de muestras de una imagen en un grupo de funciones base cosenoidales se debe aplicar la “Transformada Coseno Discreta”, mientras que para la restauración de dichas muestras partiendo de la agrupación de una suma de cosenos se tiene que emplear la “Transformada Coseno Discreta Inversa”.

El proceso de DCT está conformado por una serie de pasos:

#### II.5.1.1 Transformada DCT

El primero de ellos consiste en aplicar la Transformada, por lo que la imagen se va a dividir en bloques de 8 x 8 píxeles (Figura 3), por cuestión de complejidad ya que se requeriría mucho tiempo procesar toda la imagen al aplicar la transformada

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

a todo el bloque. Estos primeros bloques son la representación en el dominio del espacio. A cada uno de éstos se le aplicará la ecuación matemática correspondiente a la transformada coseno discreta bidimensional (ec.1), y se tendrá como resultado un bloque de 8 x 8 con coeficientes de frecuencias (coeficientes DCT), es decir un total de 64 coeficientes, cuya representación es el dominio de las frecuencias (Figura 4). Dichas frecuencias aparecerán ordenadas de la siguiente manera: bajas arriba-izquierda, altas abajo-derecha, donde la primera posición, que posee cero en las dos dimensiones corresponde al coeficiente DC mientras que el resto de los coeficientes son los denominados coeficientes AC.

$$F(u, v) = \frac{C(u) \cdot C(v)}{4} \sum_{j=0}^7 \sum_{k=0}^7 f(j, k) \cdot \cos\left(\frac{(2j+1)u \cdot \pi}{16}\right) \cos\left(\frac{(2k+1)v \cdot \pi}{16}\right) \quad (ec. 1)$$

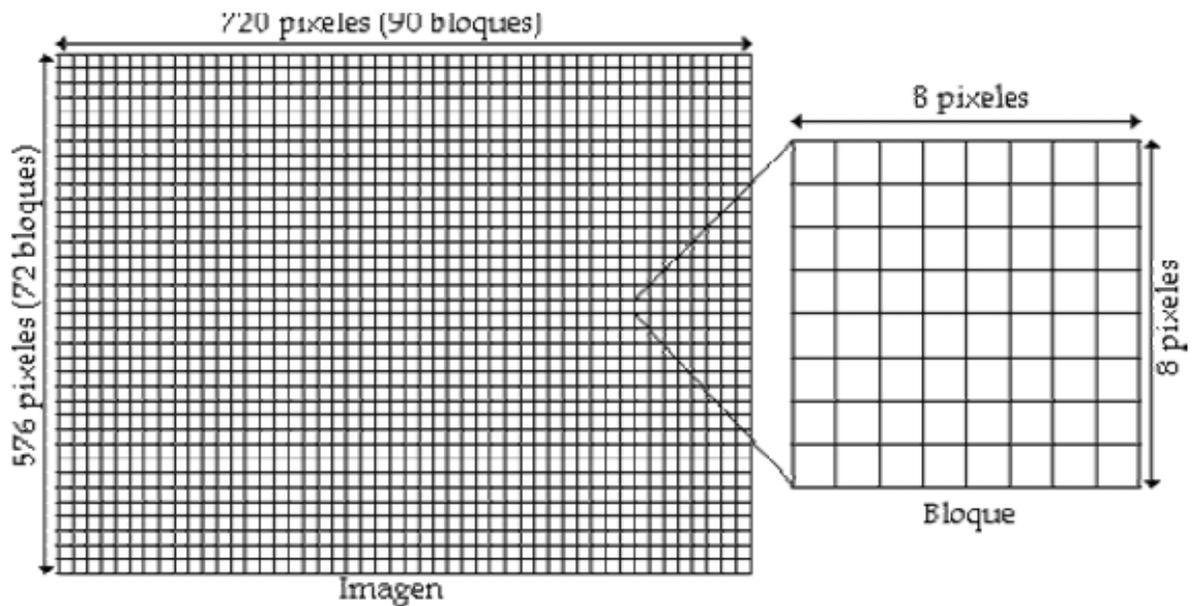
donde :

- $F(u, v)$  = coeficientes del bloque DCT de 8x8
- $u$  = frecuencia horizontal normalizada ( $0 < u < 7$ )
- $v$  = frecuencia vertical normalizada ( $0 < v < 7$ )
- $f(j, k)$  = muestras originales en el bloque de pixels de luma

$$C(u), C(v) = 1/\sqrt{2} \quad \text{si } u, v = 0$$

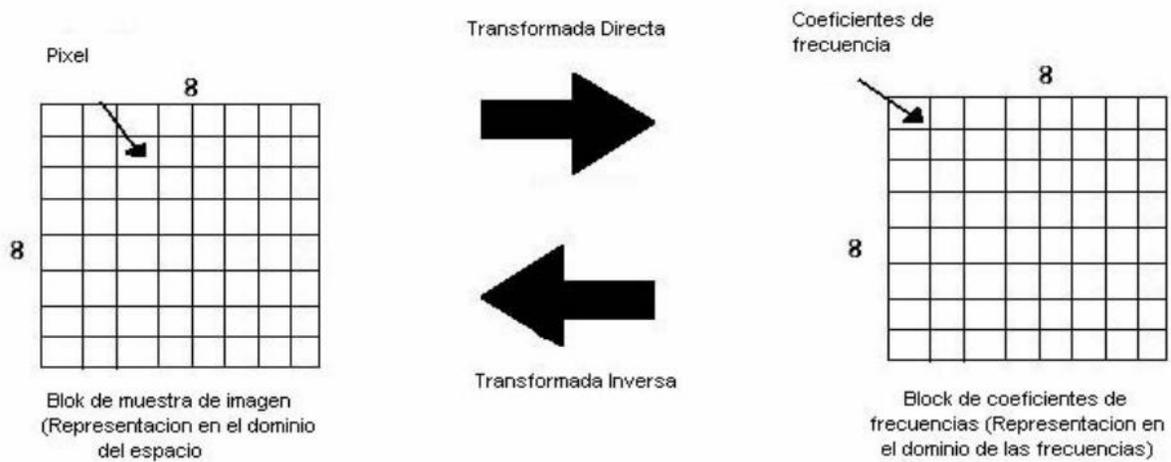
$$C(u), C(v) = 1 \quad \text{si } u, v = 1, 2, \dots, 7$$

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**



**Figura 3:** División de bloques en DCT en el dominio del espacio.

Fuente: [10]



**Figura 4:** Representación en el dominio del espacio y de las frecuencias.

Fuente: [10]

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

Esta transformada tiene la peculiaridad de agrupar una buena parte de la energía de la señal en las bajas frecuencias, esto se debe a la lenta variación entre pixeles consecutivos, por lo que la mayoría de los coeficientes serán cero.

### **II.5.1.2 Cuantificación**

El segundo paso, consiste en cuantificar aquellos coeficientes que no estén próximos a cero. Esta cuantización se realiza dividiendo cada coeficiente DCT por su correspondiente valor de una matriz de cuantificación de igualmente 64 elementos, la cual debe ser precisada por la aplicación. Esto acarrea importantes pérdidas de compresión, lo que podría afectar la calidad de la imagen.

La cuantificación se define como la división de cada coeficiente DCT por su correspondiente coeficiente de la matriz de cuantificación  $Q(u,v)$ , redondeado al entero más cercano [8]:

$$F^*(u,v) = \text{Redondeo} \left( \frac{F(u,v)}{Q(u,v)} \right) \quad (\text{ec. 2})$$

### **II.5.1.3 Codificación**

El tercer paso consiste en la codificación, para esto los coeficientes son ordenados en una matriz siguiendo la secuencia Zig-Zag, tal como lo muestra la Figura 5, de modo que los coeficientes de bajas frecuencias queden posicionados primero que los de las altas frecuencias, siendo éstas frecuencias espaciales. Luego, se produce la codificación utilizando la codificación Huffman.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

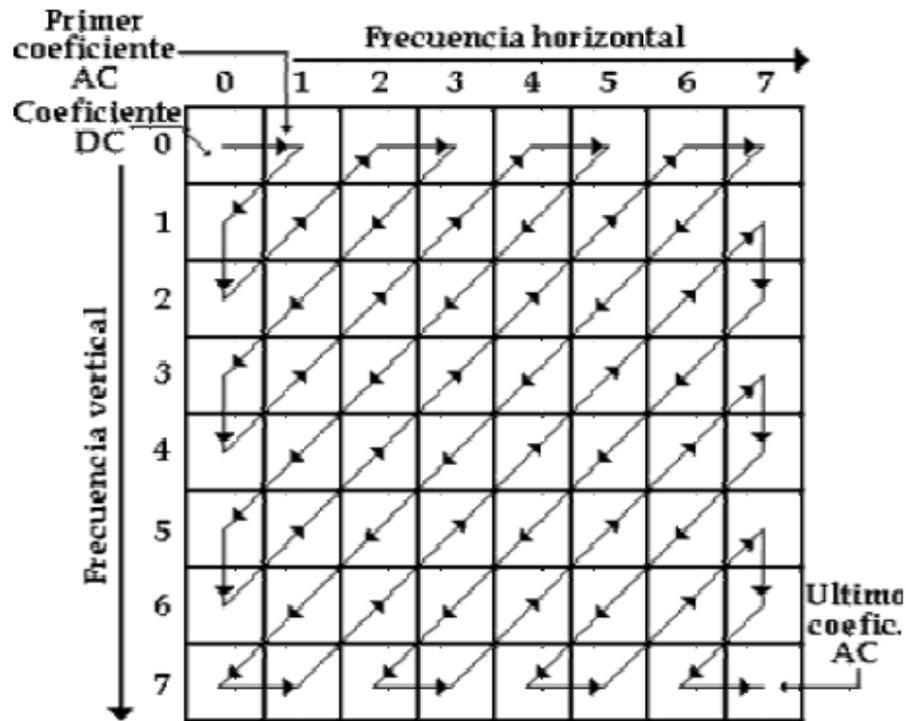


Figura 5: Barrido o exploración Zig-Zag.  
Fuente: [10]

Finalmente, para obtener la imagen original, se debe decodificar cada coeficiente que ha sido procesado por la codificación Huffman y esta vez reorganizarlos en una matriz 8 x 8. Se descuantifica, y se aplica la transformada inversa a cada uno de los bloques de 8 x 8 de tal forma de obtener nuevamente los valores originales.

## II.5.2 Wavelet

### II.5.2.1 Antecedentes

A lo largo de los años, el método más utilizado para analizar la información contenida en una señal es la Transformada de Fourier. Como se sabe, ésta transformada convierte una señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, obteniendo la representación de la señal en función de sinusoides para un mejor estudio.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

Sin embargo, existen algunas señales de interés hoy en día en el campo de la investigación como lo son las señales no estacionarias. Es por ello, que se han creado nuevas herramientas que permiten realizar un análisis más complejo y detallado de la señal desde otra perspectiva, pudiendo determinar cuándo y qué frecuencia está ocurriendo en un momento dado.

En un esfuerzo por corregir la deficiencia presentada en el punto previo, en 1946 Denis Gabor adaptó la Transformada de Fourier para poder analizar una pequeña sección de la señal en un determinado tiempo (mediante una especie de ventana). Esta adaptación es la que se conoce como STFT (Short Time Fourier Transform), la cual lleva una señal del plano del tiempo al plano bidimensional de tiempo y frecuencia. [11]

Sin embargo, STFT tiene una limitante, y es que una vez que se escoge el tamaño de la ventana a utilizar, es imposible variarlo por lo que se tendrá una misma resolución para todas las frecuencias. Esto es una desventaja para algunas señales no estacionarias donde se necesita hacer un análisis más específico para determinadas frecuencias que para otras.

### **II.5.2.2 Transformada Ondícula (Transformada de Wavelet)**

Una ondícula o wavelet es una señal oscilatoria de corta duración cuya energía es finita y se encuentra concentrada en un determinado intervalo de tiempo. Las Wavelets son funciones que satisfacen ciertos requerimientos matemáticos. Dichas funciones son usadas para representar datos u otras funciones. [5]

El análisis Wavelet representa el paso lógico siguiente a la STFT: una técnica mediante ventanas con regiones de tamaño variable. El análisis Wavelet permite el uso de intervalos grandes de tiempo en aquellos segmentos en los que se requiere

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

mayor precisión en baja frecuencia, y regiones más pequeñas donde se requiere información en alta frecuencia. [11]

La transformada de Wavelet (WT) genera bloques de información en escala y tiempo de una señal. Estos bloques se generan desde una única función fija llamada ondícula madre  $\psi(t)$ , como se define en la ecuación 3, mediante operaciones de traslación y dilatación: [5]

$$\Psi_{a,b} = \frac{w\left(\frac{x-b}{a}\right)}{\sqrt{|a|}}; a, b \in R, a \neq 0 \quad (ec. 3)$$

En la ecuación anterior los valores  $a$  y  $b$  son números que pertenecen al conjunto  $R$ . La variable  $a$  es el factor de escala o dilatación, que permite comprimir o expandir una función Wavelet, la cual debe ser distinta de cero puesto que en ese valor es indeterminada. La variable  $b$  corresponde al factor de desplazamiento o traslación la cual permite adelantar o retrasar la función Wavelet en el tiempo.

A diferencia de otras transformadas, la Transformada Ondícula tiene la capacidad de representar la función con otro tipo de bases que no sean sinusoides infinitas, con lo que se mejora considerablemente la resolución. En la Transformada Ondícula el análisis es local, lo que permite conocer la respuesta en intervalos de tiempo determinados, o regiones del espacio como en el caso de imágenes, proporcionado así una buena herramienta para el análisis y procesamiento de señales no estacionarias. Sus aplicaciones abarcan desde análisis de señales como sismogramas, procesamiento de imágenes, análisis estadísticos, entre otros. [12]

### **II.5.2.2.1 Transformada Discreta Wavelet (DWT)**

#### **II.5.2.2.1.1 DWT en una dimensión (1D-DWT).**

Para aplicar la Transformada Wavelet a una serie de datos numéricos, se hace necesario implementar una Transformada Discreta de Wavelet. La idea fue desarrollada por Mallat en 1988, quien diseñó un algoritmo basado en un banco de filtros que permite obtener una Transformada Wavelet a partir de los datos de interés. [11]

Casi todas las señales, están compuestas por bajas frecuencias quienes son las que contienen la información global de la señal, y las componentes de altas frecuencias quienes representan los datos más específicos de esta.

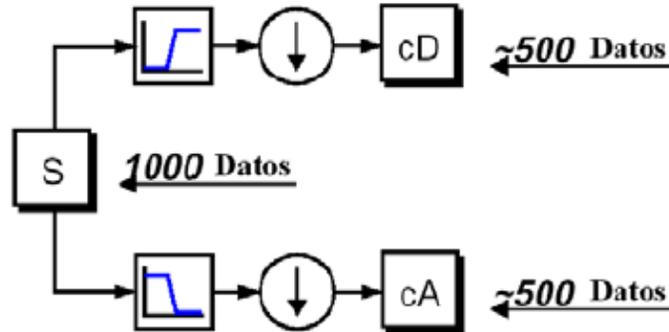
Es por ello que se subdividen las componentes de una señal en dos categorías [11]:

- Aproximaciones (baja frecuencia)
- Detalles (alta frecuencia)

Primeramente, para separar estos dos tipos de componentes se creó una técnica basada en filtros pasa-altos y pasa-bajos, y colocando como entrada la señal que se desea analizar. Este procedimiento se conoce como submuestreo, tal como lo ilustra la Figura 6:

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---



**Figura 6:** Diagrama de descomposición de señales.

Fuente: [11]

Los círculos con flechas representan la eliminación de datos o submuestreo. Luego, cD y cA son los nuevos coeficientes obtenidos de la etapa de filtrado intuitivamente se puede concluir que al tener cD y cA, en conjunto se tiene la misma cantidad de datos que las de la señal original S, y se ha mantenido la información necesaria. [11]

No obstante, aparece otro punto a tomar en cuenta, y es que en el análisis de determinadas señales no es suficiente trabajar sólo con altas y bajas frecuencias, sino que se necesita un estudio de mayor complejidad tratando de descomponer aún más la señal para lograr obtener información más específica de coeficientes más particulares. Es por ello, que se introduce un nuevo concepto llamado Filtros multiniveles, donde la señal de entrada S se descompone en varios niveles iterando el proceso de filtrado a cada señal que se obtenga y se desee. Esto origina un árbol de descomposición Wavelet, tal como se observa en la Figura 7:

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

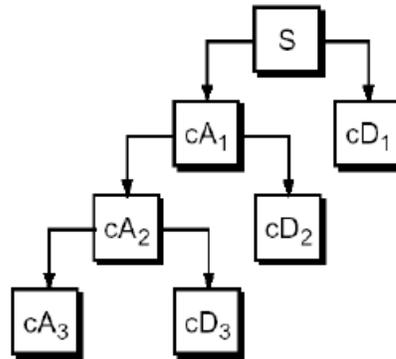


Figura 7: Árbol de descomposición Wavelet.

Fuente: [11]

En la Figura 7 se observa que el nivel utilizado para la descomposición de la señal es 3. El coeficiente  $cA_3$  corresponde con el coeficiente de aproximación de menor frecuencia, mientras que  $cD_1$  simboliza el componente de mayor frecuencia. Es importante destacar, que mientras más niveles se utilicen para descomponer la señal, se obtiene información más específica de la señal  $S$ , pero a una menor resolución.

En teoría, como se trata de un proceso recursivo, se podría iterar en forma sucesiva infinitas veces. Sin embargo, en la práctica, solo se puede descomponer hasta que un intervalo o nivel posea una sola muestra (o pixel en el caso bidimensional, para análisis de imágenes). [11]

### II.5.2.2.1.2 DWT en dos dimensiones (2D-DWT).

Para el procesamiento de imágenes, que son datos bidimensionales por representarse como una matriz, se utiliza la transformada Discreta de Wavelet en dos dimensiones.

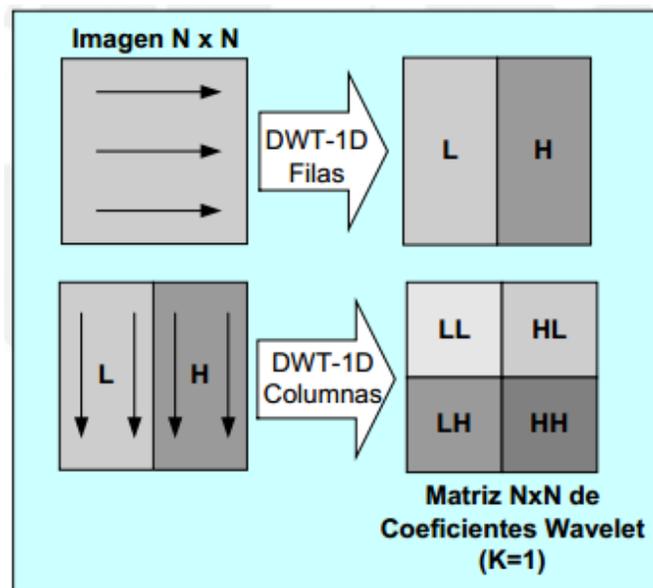
La 1D-DWT puede ser extendida hacia la Transformada bidimensional de Wavelet (DWT-2D), al aplicar la DWT-1D sobre las filas de la matriz de entrada, y

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

luego repetir el mismo proceso sobre las columnas. Esto es válido, debido a la característica de superposición que posee la DWT. [13]

La Figura 8, muestra el procesamiento que se efectúa sobre las filas y columnas de una imagen. La 2D-DWT trabaja con un banco de filtros que dará lugar a cuatro bandas de frecuencias denominadas LL, HL, LH y HH. En la banda HL se encuentra el resultado de aplicar el filtro paso alto a las filas, y paso bajo a las columnas, mientras que en la LH tenemos el caso contrario. La banda HH es la resultante de aplicar el filtro paso alto por filas y columnas, mientras que por último, la banda LL se obtiene a partir del filtro paso bajo tanto por filas como por columnas. [14]



**Figura 8:** Transformada bidimensional de Wavelet para un nivel.

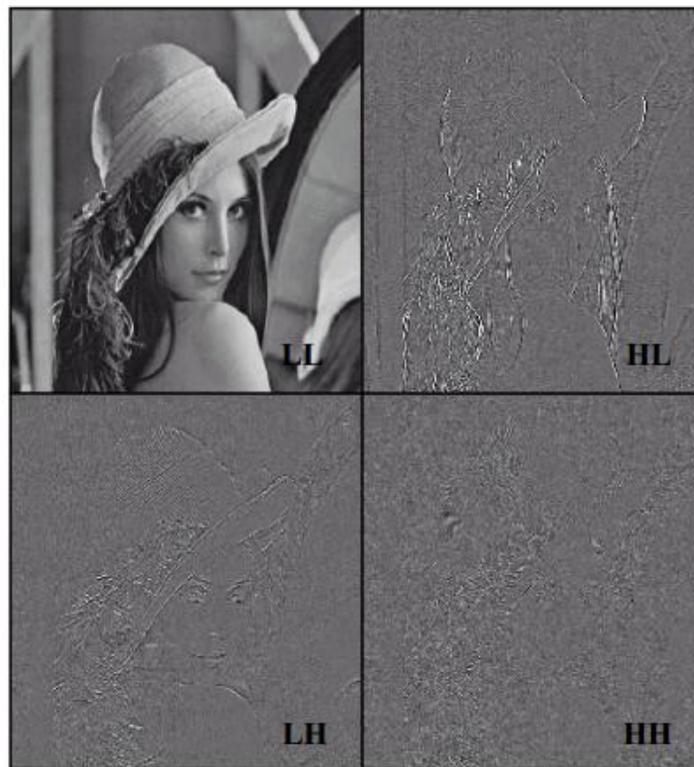
Fuente: [15]

Este proceso de filtrado originará cuatro grupo de coeficientes: de aproximación que corresponde a la subbanda LL, la subbanda HL corresponde a los

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

detalles verticales de la señal original, la subbanda LH son los detalles horizontales, y por último la subbanda HH representan los detalles diagonales de la matriz original. En la Figura 9, se muestra un ejemplo de cómo se observan estos coeficientes, pudiendo confirmar que los coeficientes de aproximación son los que concentran más energía y por ende la información más importante, mientras que los de detalles presentan valores próximos a cero,



**Figura 9:** Coeficientes Wavelet en el nivel 1 al aplicar la 2D-DWT

Fuente: [14]

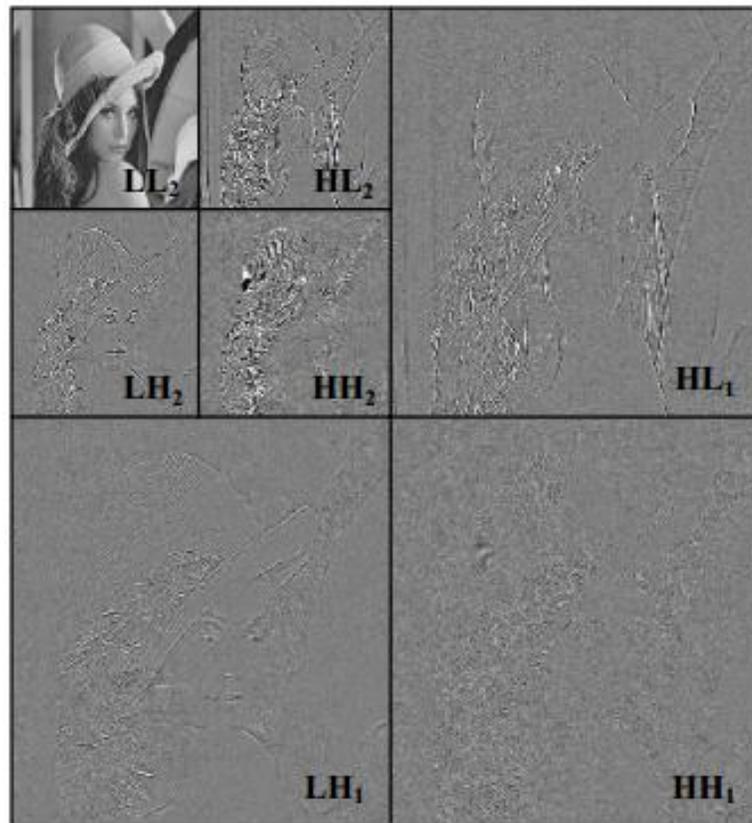
### II.5.2.2.1.2.1 Transformada Wavelet 2D multinivel (2D-DWT<sub>n</sub>)

Como se observó en el punto anterior, la subbanda donde se concentra más energía luego de aplicar la 2D-DWT a la imagen es la LL. Esto es debido a que

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

generalmente en las imágenes naturales, la mayor información se concentra en las bajas frecuencias. Es por ello que si se quiere más detalles de la imagen, se repite el proceso anterior, es decir un segundo nivel de transformada, de donde se obtiene el siguiente resultado que muestra la Figura 10:



**Figura 10:** Coeficientes Wavelet en el nivel 2 al aplicar la 2D-DWT

Fuente: [14]

En este caso, se ha aplicado la 2D-DWT con dos niveles de transformada, dando lugar a coeficientes Wavelet de dos niveles distintos (HL1 y HL2, LH1 y LH2, HH1 y HH2), y un único nivel de subbanda de baja frecuencia (LL2). Se dice que la DWT

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

facilita la multiresolución de manera natural porque se va obteniendo distintas versiones de la imagen original, a distintos tamaños, a medida que se va calculando más niveles de transformada. Se puede ver, como en la banda de baja frecuencia de la figura 10 se tiene nuevamente una versión reducida de la imagen original. Además, esta banda contiene la mayor parte de la energía, con lo que se podría repetir el proceso de transformada 2D centrandó la atención en las distintas subbandas de baja frecuencia hasta que se considere que se ha concentrado suficientemente la energía en una única banda de dimensiones reducidas, facilitando esto el posterior proceso de compresión. [14]

### **II.6. Compresión digital**

El término de compresión digital se refiere a la reducción del tamaño del archivo codificándolo, utilizando menos bits de información para representar el original. [16]

Un punto importante de las imágenes digitales es la elevada cantidad de bits que se requiere para su representación; sin embargo gran parte de ésta contiene información redundante ya que píxeles vecinos presentan valores cercanos. Es por ello que es necesario aplicar un método que acorte el volumen que representa la imagen original hasta una determinada tasa, evitando ser identificado por el sistema visual. Para ello se utilizan pocos bits para su transmisión por el canal de comunicación, lo que supone ventajas entre las cuales se pueden mencionar el aprovechamiento eficiente del espectro ya que se puede emitir más información, en vez de la ocupación de señales que tornan el proceso muy complejo y pesado.

Hay muchos tipos de métodos de compresión, dependiendo del tipo de tasas que se desea de compresión, calidad, entre otros aspectos.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

### **II.6.1 Compresión de imágenes sin pérdidas**

La compresión sin pérdidas es aquella que se realiza para que la imagen recibida sea una copia fiel de la imagen original, es decir no se pierde información.

Algunos ejemplos son: GIF (Graphics Interchange Format), TIFF (Tagged Image Format File) y EPS (Post Script Encapsulado)

### **II.6.2 Compresión de imágenes con pérdidas**

La compresión con pérdidas se basa principalmente en descartar aquella información de la imagen que es redundante, con el objetivo de obtener elevadas tasas de compresión. Se dice que es con pérdidas, pues la reconstrucción de la señal nunca será igual a la imagen original y al eliminar información se compromete la calidad de la señal. Frecuentemente, este método arroja distorsiones aceptables, pues no son visibles por el ojo humano.

La compresión con pérdida elimina parte de la información de la imagen con tal de conseguir mayores cotas de compresión. Esta pérdida puede ser ligera siempre y cuando el ojo humano no detecte la información extraída (eliminada) o con gran pérdidas. La gran ventaja de este criterio es la alta razón de compresión que alcanza, pudiendo alcanzar mayores razones de 199:1, e incluso superiores. [17]

Por sus capacidades de ofrecer aplicaciones como transmisión progresiva y ROI para imágenes médicas digitales, actualmente se utilizan con gran frecuencia dos métodos de compresión con pérdidas los cuales son JPEG (Joint Photographic Experts Group) y JPEG 2000 (Joint Photographic Experts Group 2000).

#### **II.6.2.1 JPEG**

JPEG en pocas palabras es un estándar de compresión para imágenes fijas

Dicho estándar cumple con los siguientes requerimientos: [18]

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

- 1) Utilización de un sistema codificador parametrizable, de modo que el usuario pueda escoger el nivel de compresión/calidad, pero teniendo en cuenta que el rango de fidelidad visual de la representación, respecto de la imagen original, esté caracterizado por un nivel de calidad comprendido entre muy bueno y excelente.
- 2) Ser aplicable a todo tipo de fuentes de imágenes, sin restricciones en cuanto a:
  - Dimensiones de las ventanas de captación (cámaras) o
  - De proyección (displays),
  - Espacios de color (RGB, YUV, YIQ...),
  - Resolución de pantalla (niveles de muestreo),
  - Tipo de imágenes, en lo referente a su complejidad, rango de color o propiedades estadísticas de correlación.
- 3) La complejidad de implementación computacional debe ser tal que sea posible desarrollar el sistema dentro de una serie de CPUs que conserve un costo para la aplicación viable con un alto grado de desarrollo.

Cuando se trabaja con JPEG, éste se basa principalmente en tres etapas: Transformación, cuantificación y codificación de la imagen. Las etapas se muestran gráficamente en la Figura 11.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

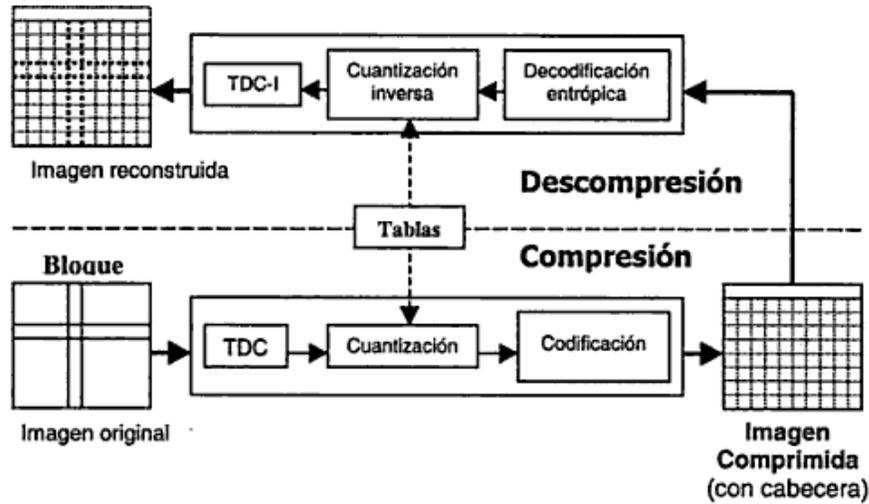


Figura 11: Esquema de compresión/descompresión JPEG.

Fuente: [17]

### II.6.2.2 JPEG2000

Este estándar de compresión nace como una solución a los requerimientos de nuevas aplicaciones que se han originado con la evolución de la tecnología que utilizando el JPEG no les era suficiente. De igual manera, se deseaba un estándar que solventara las problemáticas que se presentaban con el JPEG, entre las cuales se puede mencionar que las regiones de interés no eran tratadas adecuadamente, no poseía una resolución y calidad única, y era muy susceptible a presentar grandes errores de transmisión ya que si se origina un error en un bit se produce una cantidad importante de pérdidas.

Por todo lo anterior, el mismo comité JPEG creó un nuevo estándar capaz de tratar con diferentes tipo de imágenes (fotografías, imágenes médicas, científicas, texto) con diferentes características (blanco y negro, escala de grises, multicomponente) permitiendo diferentes modelos de computación cliente/servidor, transmisión en tiempo real y a ser posible con un sistema unificado. Este nuevo

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

proyecto figura como norma ISO, International Standardization Organization(ISO/IEC 15444-1). [8]

La principal diferencia del JPEG2000 con respecto al JPEG, es la introducción de la Transformada Wavelet en particular la discreta, que es aplicada a toda la imagen en vez de la Transformada Coseno Discreta que se realiza dividiendo la imagen en bloques. Esta nueva herramienta trae consigo mayor robustez en la compresión, y numerosas aplicaciones importantes.

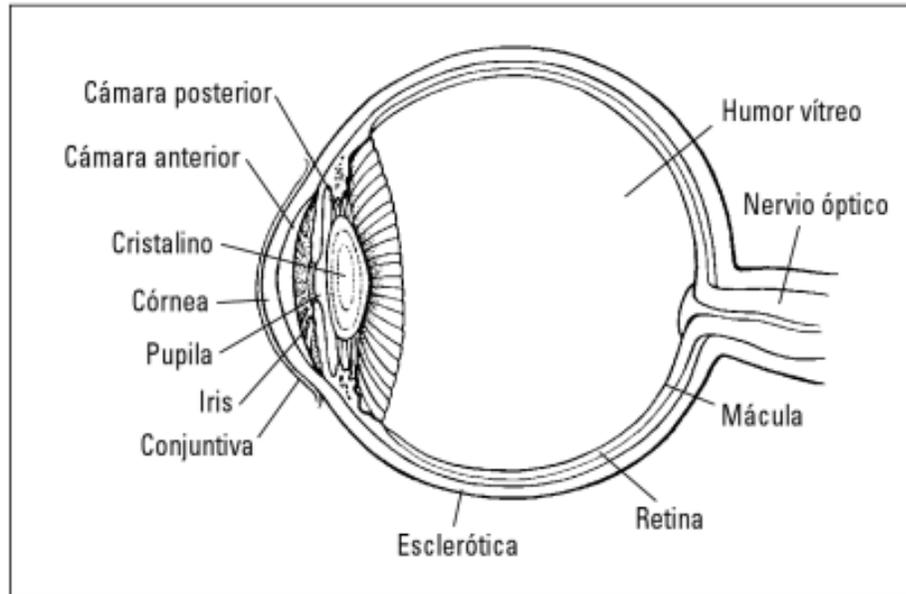
### **II.7. Proceso Ojo-Vista-Cerebro**

Para poder diferenciar cualquier algoritmo, anomalías o características presentes en una imagen, se debe llevar a cabo un proceso fundamental, donde el ojo y el cerebro son los principales protagonistas. El ojo servirá de mediador, convirtiendo los estímulos visuales en impulsos nerviosos los cuales llegan al cerebro para ser interpretados y así completar el proceso de la visión.

Primeramente, el ojo captará todo rayo luminoso (reflejado por los objetos) que se encuentre dentro de su campo visual, siendo recibidos por una “ventana” transparente llamada córnea, la cual tiene como función reflejar la luz hacia el interior del ojo, curveándolos de tal manera que logren enfocarse dentro de la pupila, abertura circular negra del ojo que se encuentra dentro del iris. (Ver Figura 12).

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---



**Figura 12:** Estructura del Ojo humano

Fuente: [19]

Dicho lo anterior, el iris, es la estructura pigmentada del ojo encargada de regular la cantidad de luz que puede entrar el ojo o más específicamente la luz que se proyecta sobre la retina, razón por la cual la pupila en algunas ocasiones se encuentra más ensanchada que en otras.

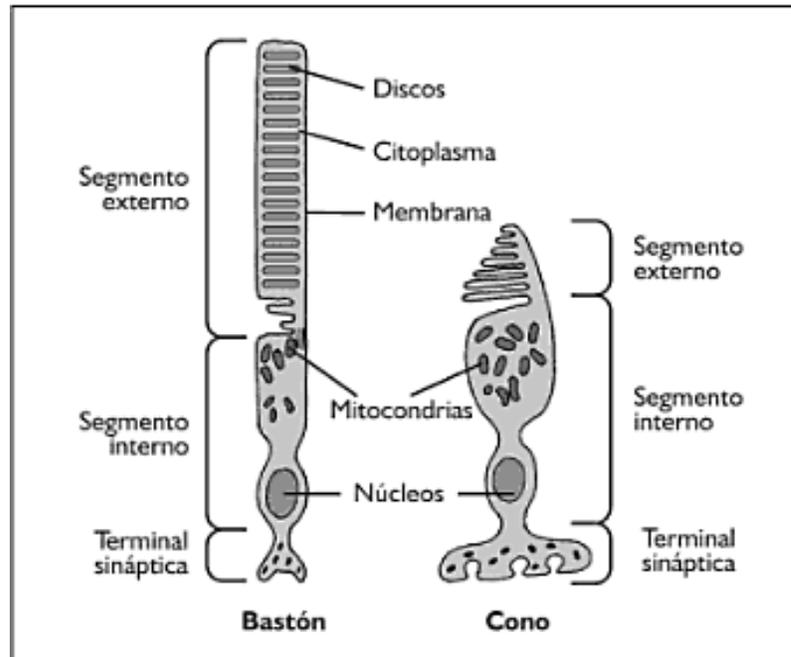
Una vez que la luz pasa por el iris, llega al cristalino, el cual se encargará de proyectar los rayos luminosos sobre la retina, tal cual como un lente.

“El cristalino es la estructura que enfoca los rayos luminosos sobre la retina. Se compone de tejido relativamente liso capaz de hacer los ajustes que facilitan el proceso de acomodación. La acomodación ocurre cuando la curvatura del cristalino se ajusta para modificar el foco visual. Al enfocar un objeto cercano, el cristalino se ensancha (se vuelve más redondo) para producir una imagen nítida. Al enfocar objetos lejanos, se aplanan para producir el mismo efecto.” [20]

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

Luego de que el cristalino realiza su proceso de acomodación, la imagen es proyectada en forma invertida sobre la retina, la cual está compuesta por millones de células fotorreceptoras en su capa más profunda llamadas bastones y conos que recibirán los estímulos de la luz. Una muestra de ellos se observa en la Figura 13.



**Figura 13:** Estructura de Bastones y Conos

Fuente: [21]

Los bastones son muchos más numerosos, pues el ser humano tiene de 100 a 125 millones de bastones apenas entre 5 y 6.4 millones de conos [20]. Pero esa no es la principal diferencia entre ellos, los conos tienen la función de participar activamente durante la visión diurna, y cromática, mientras que sólo los bastones son capaces de procesar la visión nocturna.

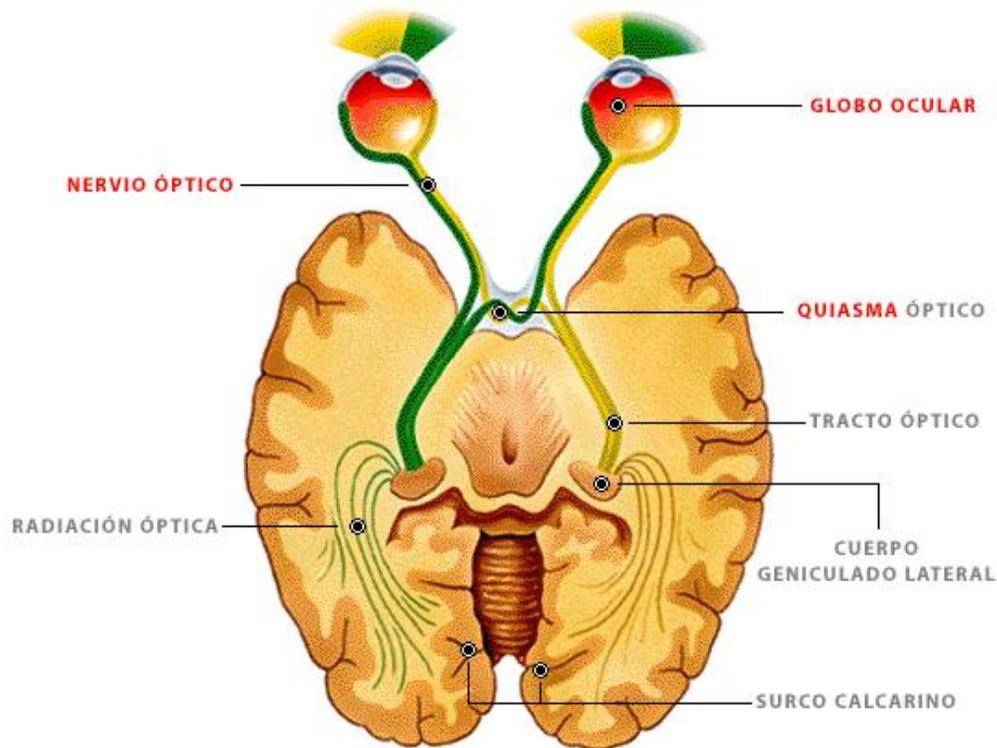
Una vez que las células fotosensibles (bastones y conos) reciben los rayos de luz, al mismo tiempo estimularán a las células nerviosas que se encuentran en la capa intermedia de la retina, para finalmente enviar la información codificada al cerebro

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

en forma de impulsos nerviosos mediante el nervio óptico, el cual está compuesto de un grupo de axones que conectan el ojo con el cerebro.

El nervio óptico que sale desde la retina, en realidad se encuentra subdividido en nervio óptico derecho e izquierdo, los cuales llegan al Quiasma óptico (Ver Figura 14), punto donde se realiza una entrecruzamiento y el nervio óptico más interno de cada ojo se dirige hacia la otra mitad del cerebro, mientras que el nervio óptico más externo se encamina hacia el mismo hemisferio de donde parte. Toda esta estructura, es con la finalidad de que a ambos hemisferios les llegue información proveniente de los dos ojos.



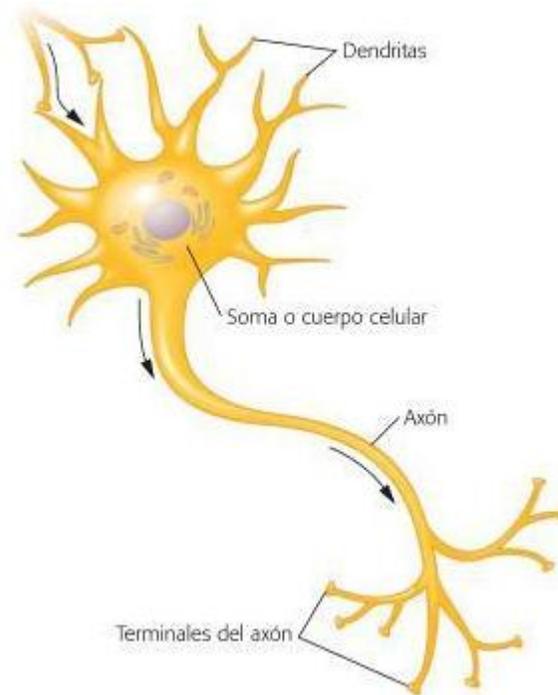
**Figura 14:** Conexión Ojo-cerebro

Fuente: [22]

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

Posteriormente del Quiasma óptico, los nervios ópticos son denominados Tractos Ópticos. Luego, las fibras nerviosas se dividen en dos trayectos; el primero de ellos se dirige hacia el tálamo, específicamente al cuerpo o núcleo geniculado lateral. Aquí se realiza un importante proceso de sinapsis, el cual tiene como función transmitir los impulsos nerviosos entre neuronas mediante los axones y las dendritas (ver Figura 15), siendo los axones el punto de la neurona capaz de conectarse con otras, y las dendritas aquellas que reciben la información por parte de otras neuronas. Después que se realiza el proceso de sinapsis, la información se dirige a la corteza visual en el lóbulo occipital.



**Figura 15:** Partes de una neurona

Fuente: [23]

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

La segunda vía que sale del quiasma se bifurca hacia un reglón del mesencéfalo llamada colículo superior antes de atravesar el tálamo y dirigirse al lóbulo occipital. Al parecer, su principal función consiste en coordinar los estímulos visuales con otros estímulos sensoriales. [20]

Se puede observar, que los nervios ópticos que salen de la parte posterior de cada ojo, recorren caminos que tienen como destino llegar a la corteza visual primaria, la cual está compuesta de diferentes tipos de células con la finalidad de reconocer cualquier estímulo.

### **II.6 Protocolos de Transporte**

#### **II.6.1 TCP (*Transmission Control Protocol*)**

El Protocolo de Control de Transmisión, TCP, es un protocolo de comunicación utilizado para la transmisión de grandes flujos de bits entre hosts, creando una conexión previa. Es un protocolo de transporte seguro y confiable.

El protocolo TCP posee funciones tales como: fragmentación de mensajes, retransmisión de segmentos, reordenamiento, establecimiento de prioridades; también define los formatos de los datos, asentimientos, procedimientos de establecimiento y finalización de conexiones. Todo ello con la finalidad de lograr un servicio orientado a conexión y extremadamente fiable para la transferencia de datos. [24]

La confiabilidad se adjudica al hecho de que TCP divide el mensaje en paquetes, enumerándolos de manera secuencial y transmitiéndolos al destino, verificando en el receptor que se reciban completa y correctamente. Si se pierde un paquete en el camino, o hay errores en la información recibida, se le ordena al emisor la retransmisión del mensaje. Si el destino recibe un paquete fuera del orden

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

secuencial, TCP se encarga de aplicar un procedimiento de numeración de secuencia. De esta forma, TCP es fiel garante de la integridad de los datos.

Por otro lado, es seguro, pues antes de que el origen comience la transmisión de la información al destino, TCP establece primeramente una conexión entre ambos extremos negociando todos los parámetros necesarios. Es por ello, que se dice que TCP es un protocolo orientado a conexión.

TCP se ha convertido en uno de los principales protocolos más utilizados en internet por las numerosas ventajas de fiabilidad y seguridad que le aporta al Protocolo de Internet (IP), creando el estándar TCP/IP, que aparte de los tradicionales servicios mencionados anteriormente, también ofrece:

- Transferencia de archivos FTP (File Transfer Protocol)
- Acceso Remoto
- Sistemas de archivos en red
- Servidores de nombres y de terminales
- Reconocimiento positivo con retransmisores [25]

De igual forma, implementa un sistema de puertos que se asignan a cada aplicación que se corra en la máquina para poder llevar la información que le corresponde a cada una de ellas.

### **II.6.2 UDP (*User Datagram Protocol*)**

El Protocolo de Datagrama de Usuario, UDP, es un protocolo de transporte que encapsula y transmite la información en datagramas IP en forma secuencial.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

Es un protocolo no orientado a conexión, es decir, no se establece una comunicación previa entre el origen y destino para la transmisión de los datos, por lo que no se garantiza que el receptor reciba completamente la información, ya que no existen confirmaciones de recibo de cada paquete que llegue al destino. UDP se caracteriza por ofrecer un servicio no fiable, puesto que no asegura que los datagramas lleguen en forma ordenada para construir el mensaje, y tampoco cuenta con la capacidad de aplicar un mecanismo de organización de datagramas.

Aunque es un protocolo no confiable, muchas aplicaciones en internet lo utilizan por su rapidez en la transmisión de los datos; esto debido a la reducción de la longitud de los paquetes enviados con respecto a TCP y la inexistencia de mecanismos de detección de errores, y de confirmaciones de recibo.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

En todo trabajo científico, es necesario la presencia de una guía que despliegue una serie de acciones a realizar con la finalidad de evaluar, analizar y resolver un problema específico, a través de la utilización de técnicas o de procedimientos que garanticen el cumplimiento de los objetivos planteados. Todo lo descrito anteriormente, constituye una metodología, que de forma general representa una esquematización de un problema a solventar.

A continuación se presenta los procedimientos teórico-prácticos del presente proyecto, que surgieron principalmente de los aspectos más relevantes del problema investigado y de los objetivos planteados al comienzo del mismo.

#### **Fase I: Investigación y recopilación de material bibliográfico**

Se realizó una investigación, recopilación y selección de material primordial para la realización del proyecto, a partir de múltiples artículos de revistas científicas, textos especializados y proyectos relacionados en el área; obtenidos de diversas fuentes electrónicas, bibliotecas, departamentos universitarios de electrónica y Telecomunicaciones, entre otros.

#### **Fase II: Estudio del Lenguaje de Programación**

Una vez recopilada la información teórica de diversas fuentes, analizando las características del problema planteado inicialmente así como los objetivos delimitados, se investigaron los posibles lenguajes de programación a utilizar para el desarrollo de los algoritmos poniendo especial atención en

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

herramientas o características mas importantes que cada uno de ellos brindara para la implementación de los métodos de Resolución Progresiva y ROI para el desarrollo del piloto.

### **Fase III: Desarrollo de la estrategia de comunicación**

Se desarrolló una estrategia que permite incrementar la robustez del sistema durante la transmisión las imágenes sobre los canales de comunicación para soportar las inclemencias de un medio hostil como lo es la conexión inalámbrica con un canal de banda angosta. Para ello se estudió y analizó los distintos procedimientos más utilizados hoy en día para el procesamiento de imágenes, tales como los tipos de transformación matemáticos aplicados, y métodos de compresión.

### **Fase IV: Creación del piloto**

Partiendo de la información obtenida de las fases anteriores, se procedió a la creación del piloto para realizar el envío de las imágenes médicas mediante una arquitectura cliente/servidor, que permita establecer una comunicación bidireccional.

Dadas estas circunstancias se trabajó sólo con los coeficientes de aproximación que resultan de aplicar el análisis multinivel de la Transformada de Wavelet, ya que éstos son los que contienen mayor información de la imagen, lo que permitirá enviar un boceto de la imagen hasta el receptor con una menor resolución, cargándose progresivamente de manera que el cliente pueda identificar rápidamente el contenido de ésta para así reconocer y seleccionar la zona de interés, de tal forma que solo ésta siga cargando progresivamente, con el objetivo de lograr una transmisión con la información estrictamente necesaria para el diagnóstico.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

### **Fase V: Prueba del piloto**

Una vez culminada la creación del piloto, se verifica y demuestra el correcto funcionamiento del mismo, realizando pruebas de transmisión y recepción de imágenes con contenido médico entre el cliente y servidor, utilizando módems inalámbricos como medio de comunicación.

### **Fase VI: Análisis de los resultados**

El objetivo de esta fase, es determinar si las tecnologías propuestas son convenientes para el proyecto “SOS Telemedicina para Venezuela”, tomando en cuenta las necesidades de la organización y observando el comportamiento durante la transmisión de los datos.

### **Fase VII: Redacción y elaboración del tomo**

Una vez culminado el seguimiento y desarrollo de cada una de las etapas, se llevó a cabo la redacción y elaboración del tomo, con el objetivo de plasmar toda aquella información que sustente cada paso e idea realizada, la metodología explicando cada fase para llevar a cabo el desarrollo práctico desglosado con detalle, así como también todo resultado arrojado durante la creación del piloto.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO**

Este Capítulo, tiene como finalidad detallar con precisión las acciones ejecutadas en cada fase establecida previamente en la metodología, a través de las cuales se cumplirán los objetivos planteados al inicio del proyecto.

#### **Fase I: Investigación y recopilación de material bibliográfico**

Con el objetivo de poseer un conocimiento teórico que permita el eficiente desarrollo del proyecto y por ende el cumplimiento de los objetivos se procedió a realizar una investigación exhaustiva sobre los métodos de transmisión de las imágenes que implementan las diferentes aplicaciones: Resolución Progresiva y ROI, destinadas para el envío de imágenes y así conocer con más detalle su funcionamiento. De igual modo se estudió el proceso ojo-vista-cerebro para tener una mejor idea acerca de cómo el ser humano percibe y procesa la información recibida por su campo visual. También se reforzaron los protocolos necesarios para el envío de la imagen.

#### **Fase II: Estudio del Lenguaje de Programación**

Luego de haber estudiado las características de los posibles software a utilizar se decidió trabajar con MATLAB Y JAVA por lo que se investigó, se extrajo y se estudió tutoriales de Internet en los cuales se describe todo lo relacionado a comandos, características y ejecución. Se eligió MATLAB debido a que posee uno de los lenguajes de programación más extendidos en el ámbito académico y científico, además de su fácil manejo en el procesamiento de las imágenes; y JAVA dado que es

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

un lenguaje simple muy similar a C++. Como resultado de esta investigación, se procedió a instalar los programas en las máquinas que se utilizarían para el proyecto, para poder desarrollar el piloto en cualquier computador.

### **Fase III: Desarrollo de la estrategia de comunicación**

Para esta fase, se analizó la problemática que se presenta en el medio de comunicación que se va a utilizar para el envío de las imágenes, que en este caso es una conexión a través de módems inalámbricos.

Se utiliza la compresión con pérdidas y el envío progresivo para enviar las imágenes por un canal de banda agosta. Se emplea dicha compresión ya que se trabaja con imágenes JPEG de muy buena resolución y no es relevante si en la compresión ocurre la pérdida de un pixel de millones que posee la imagen, pues el ojo humano no lo detecta; el envío progresivo debido a que por el canal de banda angosta pasaran paulatinamente unos cuantos coeficientes de la imagen, permitiendo reconstruirla rápidamente en el receptor, reduciendo el tiempo de transmisión y como consecuencia pudiendo generar un diagnóstico rápidamente.

Para el envío de las imágenes a través de la red se trabajó con el lenguaje de programación JAVA, haciendo uso de la clase SOCKET, el cual permite realizar una comunicación entre cliente y servidor estableciendo la conexión por la cual se envían los datos, utilizando los recursos TCP del equipo.

### **Fase IV: Creación del piloto**

Primeramente se analizaron las posibles características de las imágenes que se manejan en el proyecto SOS Telemedicina para Venezuela, sabiendo que se utilizan

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

cámaras Canon de la serie A. Esto con la finalidad de conocer las propiedades de las imágenes con las que trabajara el piloto. En la Tabla 1 se pueden apreciar las características principales de dichas cámaras.

	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Modelo</b>	A1200	A4000 IS
<b>Sensor</b>	12,1 MPíxel	16,1 MPíxel
<b>Resolución Máxima</b>	4000x3000	4680x3456
<b>Resolución Mínima</b>	640x480	320x240
<b>Formato de imágenes</b>	JPEG	JPEG

**Tabla 1:** Características Principales de las Cámaras

Fuente: Elaboración Propia.

Una vez conocidas propiedades de las imágenes que se deben tomar en cuenta para el desarrollo del piloto, se llevó a cabo en función de ello un profundo análisis teórico comparativo entre la Transformada Discreta de Wavelet y la Transformada Coseno Discreta para determinar cuál sería la más eficiente para el procesamiento de las imágenes con las características estudiadas.

Se estudió la Transformada Discreta del Coseno, y se supo que para aplicar ésta primeramente se divide la imagen en bloques, donde la división más común es de 8x8, para posteriormente aplicar la transformada en cada uno de ellos, y de esta manera reducir la carga computacional del programa. Sin embargo, esto representa una limitante conocida como el efecto bloque, ya que al dividir la imagen en subimágenes y aplicar la transformada sobre cada uno de ellas en lugar de la imagen completa ocurre una independización de los bloques entre sí lo que lleva a que se observe la separación que existe entre éstos, pudiendo así afectar la resolución de la imagen y por ende del diagnóstico.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

De igual manera, se estudió la Transformada Discreta de Wavelet, destacándose como la técnica más eficiente y utilizada hoy en día en la compresión de señales no estacionarias [26], como es el caso de las imágenes médicas, dado que las tasas de compresión alcanzadas con las funciones Wavelet son superiores a las que se consiguen utilizando la DCT.

La DWT procesa la imagen en forma completa, por lo que no ocurre la distorsión que se produce en la DCT al dividir la imagen en bloques y tratarlos en forma separada, evitando así mayor cantidad de pérdidas en la compresión. Además también cuenta con la DWT multinivel que facilita la multiresolución de la imagen, logrando así una mejor compresión con mayor información, permitiendo a su vez la transmisión progresiva de los datos.

Estas son algunas de las razones, por las que se decidió desarrollar el piloto implementando la DWT para el procesamiento de las imágenes.

Seguidamente se emprendió el reconocimiento de la plataforma con la que se va a procesar las imágenes, que en este caso se trata de MATLAB. Ésta cuenta con múltiples herramientas, pero la más importante para este proyecto es la WAVELET TOOLBOX, ya que es una librería que contiene funciones que facilitan el desarrollo de los algoritmos de compresión. Esta herramienta brinda la posibilidad de trabajar con señales tanto unidimensionales como bidimensionales, siendo esta última la utilizada para el tratamiento de las imágenes, pues como se sabe MATLAB maneja las imágenes a través de matrices.

La función “dwt2” es la que permite realizar las transformaciones de Wavelet pasándole diferentes parámetros, entre éstos el tipo de ondícula madre que se desea utilizar y la imagen a tratar. Para este caso se utilizó la ondícula madre de Daubichies en específico la número 7, siendo representada en el programa como la función “db7”.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

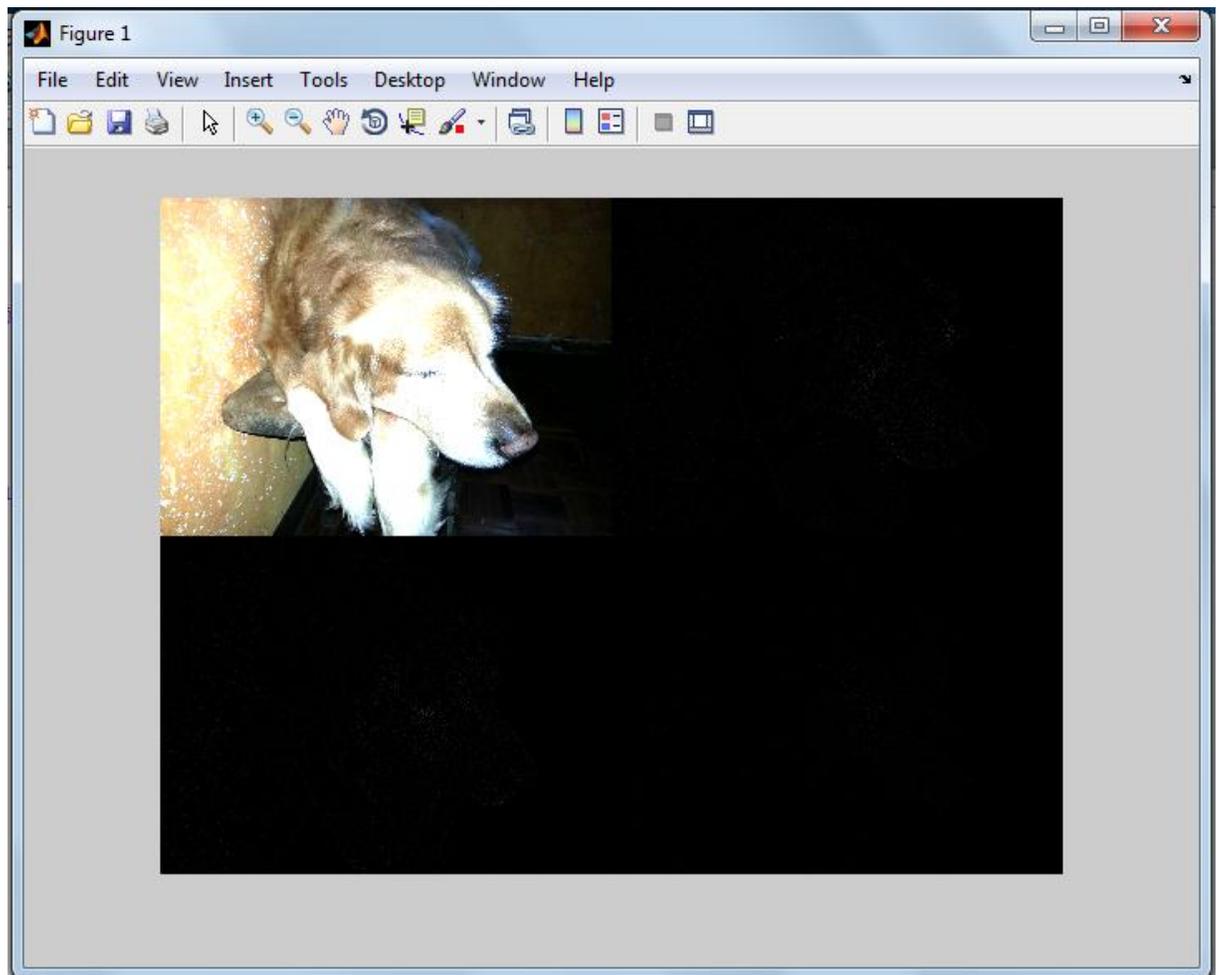
Se escogió la función “db7”, puesto que es la ondícula que mejor responde a las características de las imágenes médicas gracias a su capacidad de mantener una buena definición de los contrastes y luminancia a diferentes tasas de compresión. [27]

Luego de aplicar esta función a la imagen, ésta arroja como resultado cuatro (4) coeficientes, tales como: Aproximación, Horizontales, Verticales y Diagonales, donde los últimos tres son coeficientes de detalle (cH, cV y cD respectivamente); los Coeficientes de Aproximación (cA) son aquellos que representan las bajas frecuencias y como se sabe poseen mayor parte de la información de la imagen, ya que es la que concentra mayor energía y muestra una versión reescalada de ésta, por esta razón se trabaja solo con los coeficientes de aproximación.

En la Figura 16 se muestra un ejemplo de los coeficientes Wavelet obtenidos al procesar una imagen con el filtro “db7”, la cual posee un tamaño 2MB, resolución 3264x2448 pixeles y formato JPEG.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---



**Figura16:** Representación gráfica de los coeficientes Wavelet

Fuente: Elaboración Propia

En la imagen anterior, los coeficientes de aproximación corresponden al recuadro ubicado en la esquina superior-izquierda; los coeficientes de detalles horizontales en el cuadro superior-derecho; los coeficientes de detalles verticales en el cuadro inferior-izquierdo y finalmente los coeficientes de detalles diagonales en el cuadro inferior-derecho.

Debido a que los coeficientes Wavelet no se perciben claramente en la Figura anterior, se aplicó el mismo procedimiento a una imagen con características similares

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

como se muestra en la Figura 17, donde los coeficientes Wavelet obtenidos siguen el mismo orden de ubicación anteriormente mencionado.



**Figura 17:** Representación gráfica de los Coeficientes Wavelet

Fuente: Elaboración propia.

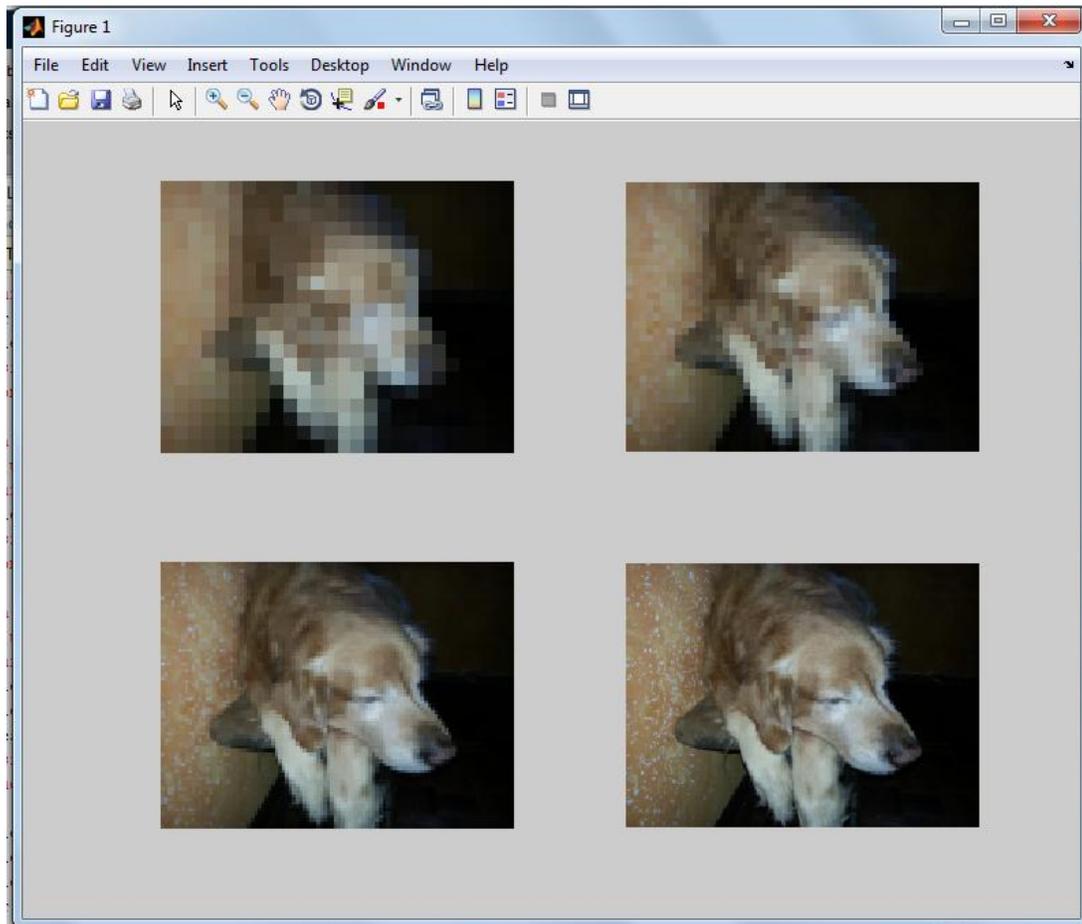
Luego se ejecutó la llamada ramificación o árbol de descomposición de Wavelet, donde se aplica la DWT a los cA resultantes de la iteración anterior, esto puede realizarse hasta obtener un solo píxel, en el cual se tendría información más detallada acerca de la señal, lo que se conoce como multi-resolución. Para efectos del proyecto se fijó un umbral en el que se verifica el tamaño de la imagen, en bytes, con la finalidad de seleccionar la cantidad de niveles adecuada para la transmisión, debido a la alta resolución de las imágenes con las que trabajara el piloto. El umbral fijado es

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

de 3MB, donde a las imágenes que tengan un tamaño menor a éste se le aplica el nivel 5, en caso contrario el nivel 7. Estos niveles son suficientes para que la primera imagen entregada al cliente sea visiblemente aceptable por éste. Aunado a ello, mientras más niveles se utilicen, mayor será el tiempo de procesamiento de las imágenes, pero menor el tiempo de envío, dado que la compresión será mayor.

Para ejemplificar gráficamente este procedimiento se realizó la descomposición a una imagen estableciendo 8 niveles, mostrando en la Figura 18 los últimos 4 de la multiresolución.



**Figura 18:** Últimos cuatro coeficientes de Aproximación del Árbol de descomposición para 8 niveles

Fuente: Elaboración propia

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

Lo descrito anteriormente es la única tarea que realizará MATLAB. Éste código debe ser estructurado como una función, la cual debe convertirse en un paquete JAVA, a través de la herramienta “deploytool” en MATLAB para luego poder ejecutarse en la aplicación de JAVA. La función lleva como nombre “procesarImagen”, la cual se encuentra ubicada en el paquete **ImageCompression**.

El proceso mencionado anteriormente es lo que permite el envío progresivo de la imagen, puesto que al llegar al último nivel del árbol de descomposición se obtiene una imagen con menor resolución y una tasa de compresión elevada. Esta “versión” de la imagen es la que será enviada primeramente a través del canal de comunicación la cual es recibida por el receptor, y adaptada a un tamaño estándar por lo que el cliente observará en la interfaz gráfica creada en JAVA en primer lugar una imagen con poca resolución, mientras progresivamente se van enviando los coeficientes de aproximación de los niveles inferiores, pudiendo lograr el algoritmo de resolución progresiva.

Todo esto se logra mediante la implementación de diversas clases creadas en lenguaje JAVA, utilizando el entorno de programación *NetBeans IDE*. Éstas están contenidas en varios paquetes a fin de clasificarlas según la función que desempeñan, para llevar un mejor orden y control del código desarrollado. Los paquetes creados para llevar a cabo la creación del piloto son:

- **Transmisor.gui:** en este paquete se encuentra la clase encargada de generar la interfaz gráfica de usuario. Ésta clase fue desarrollada utilizando el paquete “swing” de JAVA el cual posee todos los elementos necesarios para generar la interfaz, tales como; el panel, las etiquetas, los botones, entre otros. De igual manera genera los menús que le permiten al usuario seleccionar la imagen que desea enviar y guardar la imagen recibida.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

- **Transmisor.compresion:** contiene la clase que tiene como función procesar las imágenes que serán enviadas por el servidor. Ésta lleva como nombre **Compresion.java** y utiliza la clase `CompressionClass` que se encuentra en el paquete generado por MATLAB.
- **Transmisor.conexion:** las clases que se encuentran en este paquete están encargadas de establecer las conexiones entre el cliente y el servidor, la transferencia de las imágenes y el manejo de los datos referentes al ROI. Las clases contenidas en este paquete son las siguientes:
  - **Servidor.java:** En esta clase se manda a comprimir la imagen usando la clase `Compresor.java`, se abre el puerto para la transferencia de los datos y se envían las imágenes al cliente.
  - **Cliente.java:** Aquí se reciben las imágenes y se procesan para ser mostradas en la interfaz gráfica.
  - **ROIManagerC:** Se encarga de enviar al servidor los datos necesarios para procesar la región de interés solicitada por el usuario.
  - **ROIManagerS:** recibe los datos provenientes de la clase anterior y los procesa para que la clase **Servidor.java** envíe solo el ROI.
- **Transmisor.recursos:** Este paquete incluye todos los íconos e imágenes que utiliza la interfaz gráfica.

Cabe destacar que para la creación de este proyecto se utilizó la versión 7 del *Java Development Kit*, así como también fue necesaria la implementación de la librería **javabuilder.jar** proporcionada por MATLAB, con el fin de poder utilizar el paquete creado por éste último.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

A fin de que el piloto pueda funcionar en equipos que no posean la licencia de MATLAB, es necesaria la utilización del *Matlab Compiler Runtime* (MCR). Este compilador es el que permite a programas externos utilizar funciones de MATLAB.

### **FASE V: Prueba del piloto**

La creación del piloto se dividió en pequeños programas que realizan una función específica, esto para poder realizar pruebas individuales de cada uno de ellos que permita detectar y solucionar con mayor facilidad los errores arrojados. Seguidamente se unieron en un solo programa verificando que no se presenten fallas en el piloto.

Luego de desarrollado el piloto, se comenzó haciendo pruebas dentro de una misma máquina en un ambiente simulado para garantizar el correcto funcionamiento de los algoritmos y así evitar errores internos del piloto a la hora de establecer la conexión real entre dos computadoras interconectadas a través de módems inalámbricos o una red fija.

Se prosiguió con la fase de pruebas ejecutando el piloto en dos máquinas, que se interconectaron de la siguiente manera: primero mediante un cable de red; luego a una red fija y una red móvil; y finalmente ambas a redes móviles. En estas tres fases se tomaron los tiempos de transmisión de las imágenes en tres modalidades diferentes, donde estas son: “resolución progresiva completa”, “ROI 50%” y “FTP (File Transfer Protocol)”. Ésta última modalidad se utilizó con la finalidad de comparar los tiempos de transmisión del piloto con un envío completo de la imagen sin ningún tipo de procesamiento.

Todas estas pruebas se realizaron en una arquitectura Cliente-Servidor, donde el cliente es quien recibe las imágenes y selecciona la región de interés; y la otra

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

funciona como servidor, siendo quien envía la imagen y recibe las coordenadas del ROI para continuar con el envío progresivo de dicha región.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

En este Capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta Trabajo Especial de Grado, producto de las diferentes actividades y pruebas realizadas a lo largo de su ejecución.

#### **V.1. Diagrama de Flujo del piloto**

##### **V.1.1 Servidor**

En la Figura 19 se muestra detalladamente cada acción realizada por el servidor para el funcionamiento del piloto. En primer lugar, el servidor carga la imagen seleccionada y procede a abrir los puertos TCP que se utilizarán en la conexión con el cliente. Una vez hecho esto, ocurren dos situaciones simultáneas:

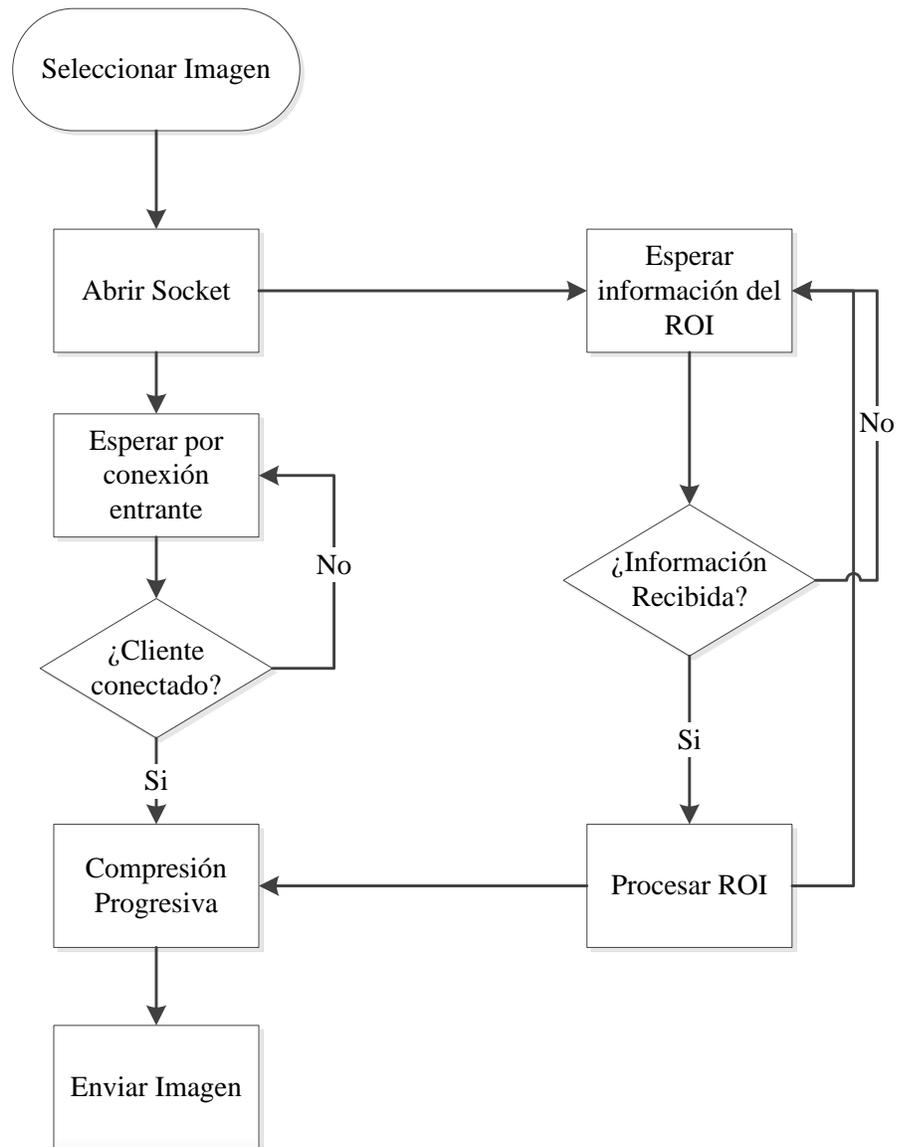
- 1) Espera por una conexión entrante.
- 2) Aguarda por la información del ROI seleccionada por el cliente.

Para la primera situación, al haber una conexión de un cliente, el servidor inicia el algoritmo de ramificación de Wavelet para la compresión de la imagen y la envía a través del puerto especificado. Al mismo tiempo, espera por la información que le pudiera enviar el cliente acerca de una región de interés en particular. En caso de que se reciba dichos datos, se ejecutará el procesamiento y envío sólo de la parte seleccionada.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

SERVIDOR.



**Figura 19:** Diagrama de flujo del Servidor

Fuente: Elaboración propia

### **V.1.2 Cliente**

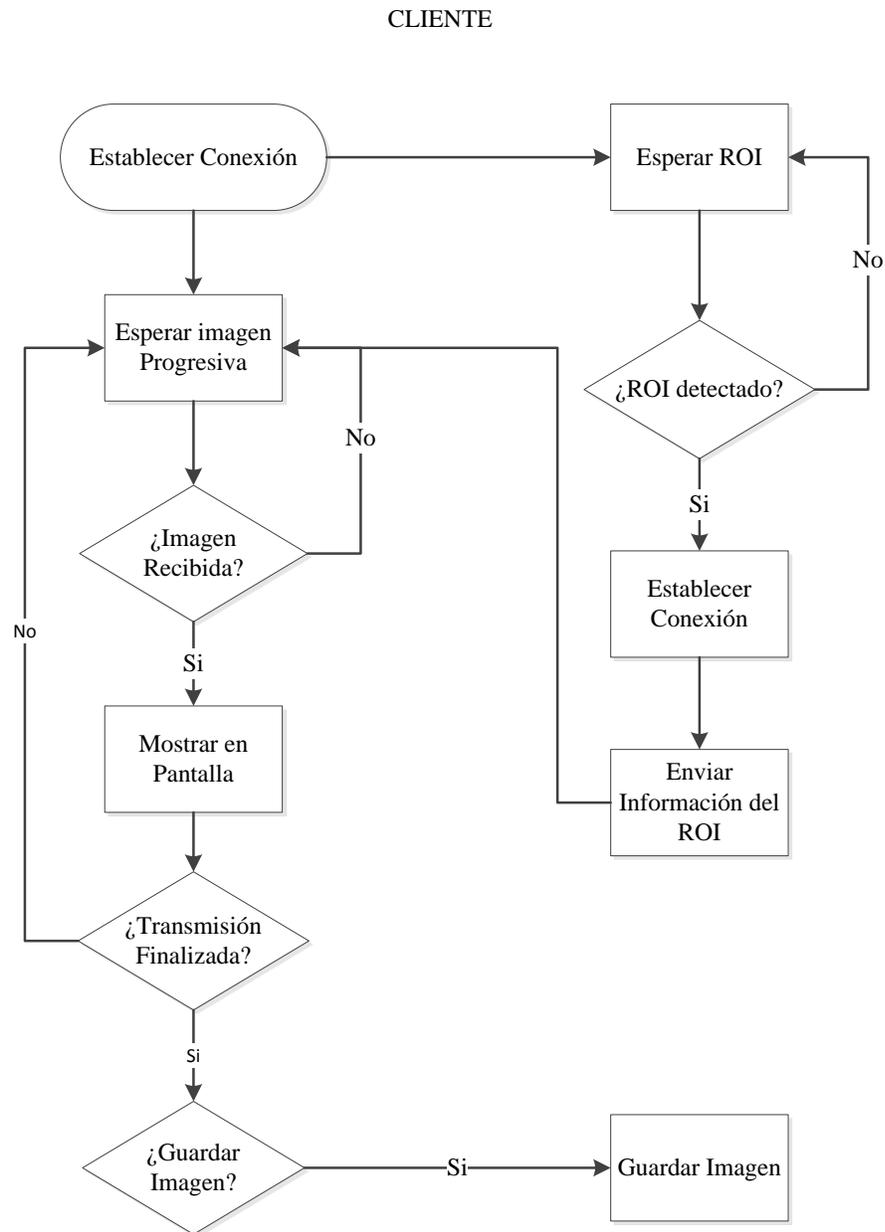
En la Figura 20 se presenta el algoritmo que realiza el cliente del piloto. Primeramente, una vez establecida la conexión igualmente ejecuta dos situaciones en paralelo:

- 1) Esperar la imagen progresiva por parte del servidor
- 2) Esperar por la ROI seleccionada por el cliente.

En el primer caso, verifica que la imagen haya sido recibida para mostrarla en pantalla. Si la transmisión progresiva no ha finalizado, procede a esperar un nuevo nivel de la imagen, en caso contrario brinda la opción al usuario de guardar la imagen.

Para el segundo caso, el cliente espera información del ROI, preguntando si el usuario ha elegido las coordenadas de la región. De ser así, establece una conexión por un puerto diferente con el servidor enviándole dichas coordenadas verificando luego si la imagen ha sido recibida y ejecuta nuevamente el proceso mencionado en el párrafo anterior.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.



**Figura 20:** Diagrama de flujo del Cliente

Fuente: Elaboración propia.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

### V.2. Características de las imágenes de prueba

A continuación se muestran las características de cada una de las imágenes utilizadas en las pruebas del piloto. Estas fueron seleccionadas tomando en cuenta las propiedades de las cámaras expuestas en la Tabla 1.

<b>Imágenes</b>	<b>Resolución</b>	<b>Tamaño</b>
<b>Prueba 1 -6</b>	1615 x 1080	789K
<b>Prueba 2 -7</b>	2100 x 4020	980K
<b>Prueba 3 -8</b>	2592 x 1944	101K
<b>Prueba 4 -9</b>	4000 x 3000	388K
<b>Prueba 5 -10</b>	3072 x 2304	3.41M
<b>Prueba 6 -11</b>	4032 x 3024	7,12M
<b>Prueba 7 -12</b>	2736 x 3648	2,63M
<b>Prueba 8 -13</b>	1464 x 1948	1,06M
<b>Prueba 9 -14</b>	2800 x 1760	1,55M
<b>Prueba 10 -15</b>	4288 x 2848	8,47M
<b>Prueba 11 -16</b>	3648 x 2736	4,53M
<b>Prueba 12 -17</b>	3648 x 2736	5,84M
<b>Prueba 13 -18</b>	3723 x 2526	4,50M
<b>Prueba 14 -19</b>	4000 x 3000	2,24M
<b>Prueba 15 -20</b>	2188 x 2187	1,05M
<b>Prueba 16 -21</b>	3264 x 2185	1,23M
<b>Prueba 17 -22</b>	3012 x 1779	3,82M
<b>Prueba 18 -24</b>	2896 x 1944	1,46M
<b>Prueba 19 -25</b>	3872 x 2592	4,33M

**Tabla 2:** Características de las imágenes de prueba

Fuente: Elaboración Propia

Se puede notar, según la Tabla 2, que las imágenes elegidas son de alta resolución, donde la resolución mínima es 1615x1080 hasta una máxima de

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

4000x3000, esto con la finalidad de observar el funcionamiento de los algoritmos implementados para el procesamiento de la imagen tomando distintos rangos de resolución, ya que como se ha mencionado en capítulos anteriores MATLAB maneja las imágenes a través de matrices, por lo que mientras mayor sea la resolución, el piloto debe realizar un cálculo computacional más complejo.

### **V.3. Pruebas de Transmisión**

Las pruebas de transmisión de las imágenes se realizaron entre dos computadoras interconectadas de diferente manera, midiendo el tiempo de transmisión con cronómetros en varias modalidades.

Los equipos utilizados para estas pruebas fueron los siguientes:

Maquina 1	Portátil
Fabricante	Hewlett-Packard
Procesador	AMD Sempron™ SI-42 2.10GHz
RAM	2 GB
Sistema Operativo	Windows7 Starter

**Tabla 3:** Características de la Máquina 1

Fuente: Elaboración Propia

Maquina 2	Portátil
Fabricante	Sony Electronics Inc.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

Procesador	Intel® Core™ i3-2330M CPU 2.20GHz
RAM	4 GB
Sistema Operativo	Windows7 Home Basic

**Tabla 4:** Características de la Máquina 2

Fuente: Elaboración Propia

Las Tablas 3 y 4 muestran las propiedades de los equipos utilizados en las pruebas del piloto simulando la arquitectura cliente-servidor, donde la máquina 1 representa al cliente y la máquina 2 al servidor.

Para la interconexión de las maquinas se utilizó un cable RJ-45, un cable Ethernet para la conexión fija y dos módems inalámbricos.

La conexión fija cuenta con una velocidad de 2M, mientras que los módems poseen las siguientes características:

Telefonía	Movilnet
Tipo	Pen-Drive
Tecnología	CDMA2000 1x Ev-Do
Velocidad máxima de subida	3Mbps
Velocidad máxima de descarga	1.8Mbps

**Tabla 5:** Características del módem 1

Fuente: Elaboración Propia

Telefonía	Movistar
Tipo	Pen-Drive

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

Tecnología	3G HSUPA
Velocidad máxima de Subida	4.5 Mbps
Velocidad máxima de descarga	3.6 Mbps

**Tabla 6:** Características del módem 2

Fuente: Elaboración Propia

**V.3.1 Modo de conexión: Cable de Red**

Para el primer caso se realizaron pruebas enviando las imágenes seleccionadas entre dos computadoras interconectadas mediante un cable de red. Con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del piloto.

En la Tabla 7 se observan los tiempos de transmisión de las imágenes en dos modalidades diferentes, donde la primera, “Resolución progresiva completa” indica el tiempo completo de la transmisión con carga progresiva, y la segunda “ROI 50%” muestra el tiempo de envío de una región de interés que ocupa aproximadamente el 50% de la imagen.

Imagen	Modalidad	
	Resolución progresiva completa (seg)	ROI 50% (seg)
Prueba 1	12	10
Prueba 2	50	29
Prueba 3	30	20
Prueba 4	55	37
Prueba 5	44	25
Prueba 6	63	40
Prueba 7	59	33
Prueba 8	17	11

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

<b>Prueba 9</b>	37	19
<b>Prueba 10</b>	80	38
<b>Prueba 11</b>	59	33
<b>Prueba 12</b>	70	33
<b>Prueba 13</b>	55	31
<b>Prueba 14</b>	93	38
<b>Prueba 15</b>	33	20
<b>Prueba 16</b>	44	26
<b>Prueba 17</b>	38	22
<b>Prueba 18</b>	39	21
<b>Prueba 19</b>	61	40

**Tabla 7:** Tiempos de transmisión de las imágenes mediante un cable de red

Fuente: Elaboración propia

Al realizar esta primera fase de pruebas se nota que el tiempo de transmisión de las imágenes no solo depende de su tamaño, sino también de la resolución de las mismas, ya que para la aplicación de los algoritmos de resolución progresiva y ROI se necesita un tiempo de procesamiento adicional que depende de la resolución y no del tamaño de las imágenes. Esto se puede notar rápidamente, por ejemplo, con la imagen “Prueba4” donde su tamaño es solo 388K y la imagen “Prueba5” que tiene un tamaño de 3.41M, si se observan los tiempo en la Tabla 7 la “Prueba4” posee un tiempo mayor de envío que la “Prueba5”, esto se debe a que la resolución de las imágenes son 4000x3000 y 3072x2304 respectivamente, lo que confirma la hipótesis de que a mayor resolución mayor es el tiempo de procesamiento.

El promedio de envío de las imágenes es de 49,96 seg en resolución progresiva completa y de 28,12 seg con el ROI del 50%. Notando que el tiempo de ROI es aproximadamente la mitad del tiempo sin alguna región de interés.

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

### V.3.2 Modo de conexión: Red Móvil – Red Fija

La segunda fase de pruebas se realizó interconectado dos computadoras a través de internet, donde una de ellas estaba conectada a una red fija a través del cable Ethernet, en este caso el cliente, mientras que el servidor se conectó a una red móvil (Movilnet), esto con la finalidad de simular la situación real del proyecto “SOS Telemedicina para Venezuela”, donde el servidor se encuentra en una zona rural conectado a un módem inalámbrico y el cliente está conectado a la red fija de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

En la Tabla 8 se encuentran los tiempos de transmisión de las imágenes en las dos modalidades mencionadas en la fase anterior y una tercera modalidad que es “FTP (File Transfer Protocol)” donde se muestra los tiempos de transmisión completos de las imágenes sin ningún tipo de procesamiento, en la misma arquitectura cliente-servidor.

El programa que se escogió para la transferencia de archivos por FTP se conoce como **FileZilla**, ya que es una aplicación gratuita, de código abierto y de fácil manejo.

Imagen	Modalidad		
	Resolución progresiva completa (seg)	ROI 50% (seg)	FTP (seg)
Prueba 1	93	29	77
Prueba 2	329	78	79
Prueba 3	100	49	25
Prueba 4	240	120	56
Prueba 5	208	96	371
Prueba 6	210	100	384
Prueba 7	186	82	238

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

<b>Prueba 8</b>	100	38	95
<b>Prueba 9</b>	252	75	149
<b>Prueba 10</b>	290	189	583
<b>Prueba 11</b>	201	85	404
<b>Prueba 12</b>	302	135	534
<b>Prueba 13</b>	205	99	155
<b>Prueba 14</b>	273	107	230
<b>Prueba 15</b>	143	74	103
<b>Prueba 16</b>	214	72	113
<b>Prueba 17</b>	210	71	353
<b>Prueba 18</b>	125	62	130
<b>Prueba 19</b>	234	83	433

**Tabla 8:** Tiempo de transmisión de las imágenes entre una red móvil y una red fija

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior se observa que los tiempos de resolución progresiva completa son muy dispares a los tiempos de envío con FTP, esto se debe a que por FTP no se toma en cuenta la resolución sino el tamaño de las imágenes, por lo que dividiremos el conjunto de imágenes en dos grupos. El grupo1 serán las menores a 1.55 M, que corresponde con las imágenes prueba1; 2; 3; 4; 8; 9; 15; 16; 18 y el grupo2 a las de mayor tamaño que incluye a la prueba5; 6; 7; 10; 11; 12; 13; 14; 17; 19.

De esta manera se observa que el grupo1 tiene un menor tiempo de transmisión por FTP que por resolución progresiva completa, debido a que son imágenes de menor tamaño y éste no toma en cuenta la resolución. Mientras que la modalidad resolución progresiva completa necesita de tiempo para el procesamiento de la imagen, lo que depende de la resolución de las mismas. En el grupo2 el tiempo de envío por FTP es mayor que por resolución progresiva completa aún cuando éste último necesite de tiempo para el procesamiento de la imagen. Esto se debe a que el

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

tamaño de las imágenes correspondientes a este grupo son elevados por lo que FTP demora en transmitir la imagen.

A pesar de que en el grupo1 los tiempos por resolución progresiva completa son mayores que por FTP, se nota que los tiempos de ROI en su mayoría son más bajos que utilizando el programa FileZilla.

### **V.3.3 Modo de conexión: Red Móvil – Red Móvil**

Esta última fase de pruebas se realizó interconectando las dos máquinas por medio de los módems inalámbricos, utilizando el perteneciente a Movilnet en la máquina del cliente y en la máquina del servidor el correspondiente a Movistar.

Para este caso igualmente se midieron los tiempos de transmisión mencionados en la fase anterior, los cuales se pueden observar en la Tabla 9.

<b>Imagen</b>	<b>Modalidad</b>		
	<b>Resolución progresiva completa (seg)</b>	<b>ROI 50% (seg)</b>	<b>Servidor FTP (seg)</b>
<b>Prueba 1</b>	98	53	120
<b>Prueba 2</b>	450	145	221
<b>Prueba 3</b>	210	49	106
<b>Prueba 4</b>	270	118	175
<b>Prueba 5</b>	200	111	337
<b>Prueba 6</b>	303	152	587
<b>Prueba 7</b>	342	125	359
<b>Prueba 8</b>	194	87	102
<b>Prueba 9</b>	352	117	235
<b>Prueba 10</b>	436	200	714
<b>Prueba 11</b>	296	105	503
<b>Prueba 12</b>	385	127	600

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

<b>Prueba 13</b>	299	143	589
<b>Prueba 14</b>	323	114	356
<b>Prueba 15</b>	181	98	193
<b>Prueba 16</b>	260	95	271
<b>Prueba 17</b>	244	137	387
<b>Prueba 18</b>	178	90	224
<b>Prueba 19</b>	333	100	642

**Tabla 9:** Tiempo de transmisión de las imágenes entre redes móviles

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 9 se observa que la tendencia es muy similar a la fase anterior, donde las imágenes del grupo1 (menores a 1.55M) presentan un tiempo por FTP y por resolución progresiva completa semejantes, mientras que las del grupo2 (mayores a 1.55M) por FTP poseen un tiempo mucho mayor a la primera modalidad. Esto indica que el piloto arroja muy buenos resultados para imágenes de gran tamaño en comparación con FTP, aun cuando se espera que finalice la transmisión de la imagen con resolución progresiva.

De igual forma, según la Tabla 9, se determina que los tiempos arrojados por el ROI de 50% en su mayoría presentan valores muy bajos en comparación con los obtenidos por FTP, y en promedio aproximadamente la mitad del tiempo de transmisión de los correspondientes a resolución progresiva completa.

A continuación se presenta gráficamente un ejemplo de los algoritmos desarrollados a través del piloto:

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---



Figura 21: Ejemplo de la imagen enviada por el Servidor

Fuente: Elaboración Propia

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

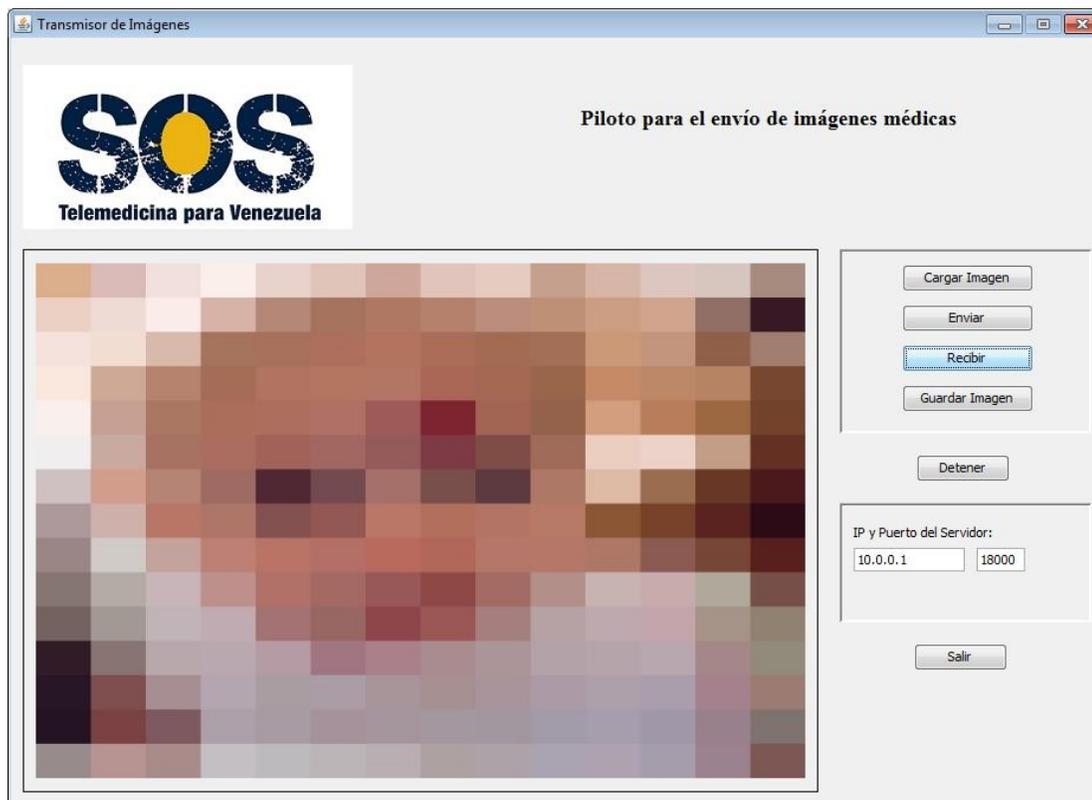


Figura 22: Ejemplo primera imagen recibida por el Cliente

Fuente: Elaboración Propia

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---



Figura 23: Ejemplo ROI seleccionado por el Cliente

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas fueron los esperados, lo que confirma que la implementación del piloto representa un método beneficioso ya que le provee al cliente la posibilidad de observar la imagen cargar consecutivamente de tal forma de que éste vaya teniendo una noción acerca del contenido de la imagen, pudiendo notar y seleccionar durante el proceso el contenido más importante, reduciendo en gran medida el tiempo de procesamiento y envío. Es por ello, que esto supone una ventaja dentro del área médica en zonas rurales con redes de baja capacidad, puesto que un especialista con la utilización del piloto no presentaría la necesidad de esperar la descarga completa del archivo enviado desde determinada comunidad para observar la imagen, situación que sucede con FTP.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

El método de transmisión ROI, de acuerdo a todas las tablas presentadas, resultó ser la más técnica eficiente ya que en su mayoría presenta los resultados más bajos en comparación con las otras dos modalidades descritas. Sin embargo, es importante mencionar que todos los datos arrojados presentan ciertas variaciones a consecuencia de la inestabilidad de la señal principalmente en la conexión red móvil-red móvil.

Por su parte, aún cuando el método ROI es la técnica más eficiente, éste depende fundamentalmente de la Resolución Progresiva para su funcionamiento, por lo que igualmente representa una excelente herramienta para la transmisión de imágenes con contenido médico.

Una vez analizados los resultados arrojados, se comprobó que a pesar de que el piloto necesita un tiempo adicional para procesamiento de las imágenes, éste representa una herramienta efectiva debido a que provee al cliente la posibilidad de observar cargar la imagen paulatinamente dándole noción del contenido la misma, permitiendo así detectar y seleccionar la región de interés durante la transmisión de los datos, reduciendo en gran medida los tiempos de descarga, Por lo que se determinó que dos estos métodos en conjunto son los más conveniente para la organización “SOS Telemedicina para Venezuela” tomando en cuenta las bajas capacidades de conexión que existen en los lugares rurales que esta organización atiende, representando una ventaja a la hora de ofrecer una opinión en salud.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El propósito principal del presente Trabajo Especial de Grado ha estado orientado al desarrollo e implementación de un piloto para envío de imágenes con contenido médico en un canal de capacidades limitadas, basado en algoritmos de Resolución progresiva y ROI, a fin de disminuir los tiempos de transmisión de las imágenes en redes de baja capacidad, tal como lo son las comunicaciones inalámbricas. Para ello, se llevó a cabo una metodología que permitiera escoger la herramienta y estrategia más eficaz para implementar los métodos anteriormente mencionados y así desarrollar un sistema que brinde la capacidad de ofrecer un eficiente diagnóstico médico.

Finalmente, en este capítulo se presentan las conclusiones que se obtuvieron durante el desarrollo del proyecto. De igual manera, se muestran las recomendaciones a fin de optimizar y lograr el buen funcionamiento de trabajo realizado.

#### **VI.1 Conclusiones**

- La DWT representa una excelente técnica para el envío progresivo de las imágenes, ya que provee el análisis multiresolución pudiendo dividir la imagen en distintas bandas de frecuencia y a su vez de trabajar con un rango específico, el cual para este proyecto fueron las bajas frecuencias.
  
- Una de las desventajas observadas durante el desarrollo y prueba del proyecto, consiste en que la DWT para lograr grandes tasas de compresión requiere de la implementación de algoritmos muy complicados que requieren un mayor

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

cálculo computacional, lo que podría aumentar en gran medida los tiempos de transmisión entre cliente y servidor, pues el tiempo de procesamiento de la imagen afectaría el buen desempeño de piloto si no se cuenta con una máquina de buena capacidad.

- La compresión con pérdidas, aún cuando no es la más recomendable para determinadas aplicaciones de imágenes médicas, resultó ser para este proyecto una buena estrategia para lograr altas tasas de compresión en las imágenes seleccionadas. Esto se atribuye, a la alta resolución de las imágenes con las que se trabajó, ya que unas cuantas pérdidas no resultan ser apreciadas por el ojo humano.
- Se determinó que la resolución progresiva representa una eficiente herramienta cuando se desea transmitir por canales de comunicación de capacidad limitada, ya que le permite al cliente tener una idea del contenido que va recibiendo paulatinamente sin necesidad de esperar la transmisión completa de la imagen.
- De igual modo, se confirmó que el método de ROI empleado durante la transmisión progresiva acorta el tiempo de procesamiento de la imagen, y por ende el tiempo de transmisión, siendo igualmente un eficaz mecanismo para cuando se trabaja con canales de ancho de banda estrecho.
- La utilización de TCP como protocolo de transporte, permitió que las imágenes durante su transmisión no sufrieran degradación alguna, ya que éste garantiza de que los paquetes lleguen a su destino en forma ordenada, y en caso de ocurrir una pérdida durante el envío se pueda retransmitir la información.

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

- MATLAB brinda herramientas efectivas para el procesamiento de imágenes, sin embargo para el envío de éstas resulta un programa muy complejo.

### **VI.2 Recomendaciones**

- Debido a que el piloto va a ser desarrollado en el ámbito de la Telemedicina se debe considerar la confidencialidad de las imágenes transmitidas, por lo que es necesario que solo personal autorizado tenga acceso a la información almacenada, implementando claves a las carpetas donde se guardan los archivos.
- En los lugares donde se posea un mejor ancho de banda es factible implementar una red VPN entre cliente-servidor, a fin de obtener una mayor seguridad en la transmisión de los datos.
- Para optimizar el funcionamiento del piloto se recomienda realizar una compresión adicional a las imágenes antes de ser procesadas para el envío progresivo.
- Asegurarse de que la pantalla de los monitores incluidos en el proyecto “SOS Telemedicina para Venezuela” tengan la misma calibración, a fin de evitar la distorsión de los colores que puedan ocasionar un diagnostico errado.
- Para garantizar el buen funcionamiento del piloto se requiere que la conexión entre cliente-servidor sea estable.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] R. Rodríguez, *Posibilidades de emisión de Multimedia en alta frecuencia para aplicaciones médicas en sitios remotos*, 2010.
- [2] Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, «Plan Maestro de equipamiento 2006,» de *Tecnologías en Salud*, Mexico, 2006.
- [3] A. G. Rosas, *Tecnologías de la información y las organizaciones inteligentes de la sociedad del conocimiento*, Veracruz, 2008.
- [4] R. E. Wood y R. C. González, *Tratamiento digital de imágenes*, Addison-Wesley, 1996.
- [5] R. García Ramos, «Compresión de imágenes fijas en MATLAB a través de DCT y Wavelet,» Universidad de las Américas Puebla, Puebla, 2003.
- [6] B. Ramos Álvarez y A. Ribagorda Garnacho, *Avances en criptología y seguridad de la información*, Díaz de Santos, 2004.
- [7] S. Stefanov, «Image Optimization, Part 4: Progressive Jpeg.. Hot or not?,» 5 Diciembre 2008. [En línea]. Available: <http://www.yuiblog.com/blog/2008/12/05/imageopt-4/>. [Último acceso: 10 Diciembre 2013].
- [8] J. A. Verdoy González, *SVD para la transmisión progresiva de imágenes y la codificación de video digital*, España, 2009.
- [9] C. A. Paredes, «Nuevos algoritmos de compresión de video de baja velocidad

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

para aplicaciones medicas en sitios remoto.,» 2010.

- [10] E. F. Molina Domínguez, «Sistemas para compresión de imagenes en Matlab, a través de una serie de GUIs,» Puebla, 2004.
- [11] R. Musalem M. y S. Kouro R., *Tutorial introductorio de la Teórica de Wavelet.*
- [12] T. Adrian y L. Urbano, «Relación entre la transformada de Ondículas y la Teoría de Bancos de Filtros,» *Revista Técnica de Ingenieria, Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*, vol. 21, nº 2, pp. 107-123, 1998.
- [13] D. Iparraguirre Cárdenas y G. Santillán Quiñonez, *Implementación de la Transformada Discreta de Wavelet de una y dos dimensiones usando la técnica Digito-Serial*, Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Catolica del Perú, Abril 2001.
- [14] Grupo de Redes de Computadores, «Compresores basados en la transformada wavelet,» Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, 2012.
- [15] C. D. Tomás Horna y C. A. Huertas Saona, *Implementación de un codificador/decodificador wavelet para la compresión de imágenes sobre un FPGA*, Lima: Pontificia Universidad Catolica del Peru, 2005.
- [16] D. D. Busch, «Compresión,» de *INSTANTANEA DE LA FOTOGRAFIA DIGITAL*, Madrid, Cengage learning Paraninfo, 2008, p. 197.
- [17] J. L. Lerma García, *Fotogrametría Moderna: Analítica y Digital*, Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- [18] J. Joglar Alcubilla, «Estándar JPEG,» de *Video Compresión*, p. 63.

**Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas  
sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

- [19] A. L. Rubin, «Enfermedad de los Ojos,» de *Diabetes para Dummies*, Indiana, Wiley Publishing, 2007, p. 87.
- [20] W. Weiten, *Psicología. Temas y variaciones*, México: Cengage Learning, 2006.
- [21] B. Gal Iglesias, M. López Gallardo, M. I. Martín Velasco y J. Prieto Montalvo, «Fotoreceptores,» de *Bases de la Fisiología*, Tebar, p. 569.
- [22] E. Álvarez, «Junta de Andalucía,» [En línea]. Available: [www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es). [Último acceso: 30 Octubre 2012].
- [23] D. Sue, D. Wing Sue y S. Sue, «Teorías Bioquímicas,» de *Psicopatología. Comprendiendo la Conducta Anormal*, México D.F, Cengage Learning, 2010, p. 39.
- [24] J. M. Huibodro, A. Blanco y J. Jordán, *Redes de Área Local*, España: Thomson Paraninfo, 2008.
- [25] C. Carro y Y. De Lira, *Diseño de una red privada de Teleradiología para el intercambio de imágenes Dicom entre UCV-Física Medica y Ucab Telemedicina*, Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2012.
- [26] R. Mata Campos, *Detección de microalcificaciones mediante análisis multiresolución y transformada wavelet*, Málaga: Universidad de Málaga, 2003.
- [27] J. Romero, *Compresión de imágenes médicas basada en transformada ondícula (wavelet) para aplicaciones en telemedicina*, Caracas: Universidad Católica Andrés Bello, 2010.
- [28] J. V. -. Blanca, «La Telemedicina. Desarrollo, ventajas y dudas.,» [En línea]. Available: <http://ferran.torres.name/edu/imi/59.pdf>. [Último acceso: marzo 2012].

**APÉNDICES**

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---

### APENDICE A: Manual de Usuario.

Para la utilización del piloto se debe correr el ejecutable de JAVA “**TransmisorImágenes.jar**”. Al iniciar se mostrara la siguiente ventana.



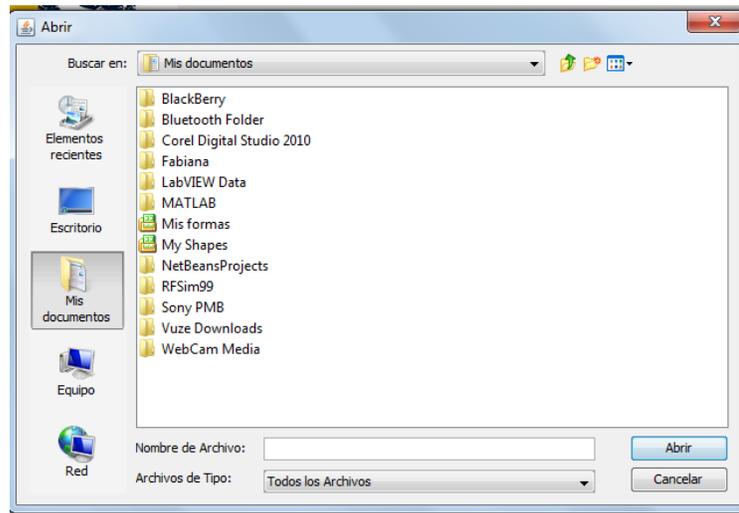
La interfaz gráfica observada es la misma para el cliente y para el servidor, a continuación se explicaran los pasos que cada uno debe seguir para su utilización.

#### **Servidor:**

- Primeramente, en la casilla IP del servidor se debe colocar la dirección “localhost” o 127.0.0.1.
- En la casilla del Puerto del servidor se debe colocar el puerto TCP que se utilizará en la conexión.
- Luego debe hacer click en Cargar Imagen, donde se abrirá una ventana similar a la siguiente:

## Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.

---



Ésta ventana le permitirá buscar y seleccionar la imagen que desea enviar. Solo se deben usar imágenes con formato **JPG**

- Note que una vez seleccionada la imagen se activa el botón de Enviar, al cual debe hacer click para que la imagen sea transmitida.
- De igual manera debe notificar al cliente que la imagen ha sido enviada.

### **Cliente:**

- Debe colocar la dirección IP y el puerto del servidor en las casillas correspondientes.
- Una vez notificado de que se ha comenzado la transmisión de la imagen debe hacer click en el botón Recibir y esperar que la imagen comience a cargar.
- Si desea escoger una región de interés solo debe seleccionar con el mouse dicha región.
- En caso de que desee parar la transmisión debe hacer click en Detener.
- Finalmente puede guardar la imagen recibida haciendo click en Guardar Imagen, donde se abrirá una ventana en la que puede seleccionar la carpeta destino de la

## **Desarrollo e implementación de un piloto para el envío de imágenes médicas sobre canales de comunicación de capacidades limitadas.**

---

misma. Importante: se debe colocar “.jpg” para que la imagen sea almacenada correctamente.

### **Requisitos:**

- Debe tener la versión 7 de *Java Runtime Environment* (JRE 1.7.0)
- Poseer el *Matlab Compiler Runtime* (MCR)