

Procesamiento Digital de Imágenes Médicas Utilizadas en el Tratamiento de la Tuberculosis en una Red de Telemedicina



**Javier Eduardo Burbano Vela
Diego Germán Domínguez Hurtado**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Telecomunicaciones
Línea de Redes y Servicios Telemáticos
Popayán, Marzo de 2006**

**PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES MÉDICAS UTILIZADAS EN
EL TRATAMIENTO DE LA TUBERCULOSIS EN UNA RED DE
TELEMEDICINA**

**Javier Eduardo Burbano Vela
Diego Germán Domínguez Hurtado**

**Monografía para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Director
Dr. Pablo Emilio Jojoa Gómez**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2006**

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	CONCEPTOS BÁSICOS	3
2.1	LA IMAGEN DIGITAL	3
2.2	DISPOSITIVOS DE CAPTURA DE IMÁGENES	6
2.3	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES	9
2.4	COMPRESIÓN DE IMÁGENES	11
2.4.1	Compresión con pérdidas o sin pérdidas	11
2.4.2	Medidas de compresión	11
2.4.3	Redundancia e información irrelevante	12
2.4.4	Criterios de fidelidad	13
2.4.5	Etapas en un sistema de compresión	14
2.5	LA TUBERCULOSIS	16
2.5.1	Diagnóstico de la tuberculosis	17
2.6	REFERENCIAS	18
3	CAPTURA Y DIGITALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES UTILIZADAS EN LA TUBERCULOSIS	20
3.1	FORMATOS DE IMAGEN DIGITAL	20
3.1.1	Organización de archivos gráficos de tipo bitmap	21
3.1.2	Formatos comunes de archivos de imagen	22
3.2	ESTANDAR JPEG 2000	25
3.3	ESTANDAR DICOM (DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE)	26
3.4	IMÁGENES USADAS EN TELEPATOLOGÍA	28
3.4.1	Imágenes Fotográficas	28
3.4.2	Imágenes digitales	29
3.5	OBTENCIÓN DE IMÁGENES DIGITALES	30
3.5.1	Cámaras de vídeo analógicas	31
3.5.2	Cámaras de vídeo digitales	34
3.5.3	Cámaras fotográficas digitales	35
3.5.4	Uso de cámaras fotográficas digitales convencionales, sin adaptador	36

3.5.5	Escáneres.....	37
3.5.6	Transferencia de imágenes al computador	38
3.6	ÓPTICA INTERMEDIA DE ALTA CALIDAD PARA CONECTAR UNA CÁMARA DIGITAL CON UN MICROSCOPIO.....	39
3.6.1	Adaptación a un microscopio sin tubo fotográfico	40
3.7	REFERENCIAS.....	44
4	ANÁLISIS DE LOS FORMATOS DE IMÁGENES	47
4.1	SELECCIÓN DE LOS FORMATOS A UTILIZAR EN TELEPATOLOGÍA.....	48
4.2	COMPARACIONES DE LOS FORMATOS SELECCIONADOS	48
4.2.1	Comparación entre el formato TIFF y el formato BMP	49
4.2.2	Comparación entre el formato TIFF y el formato PNG	50
4.2.3	Comparación entre el formato TIFF y el formato JPEG con calidad 100 ...	50
4.3	COMPARACIONES DE JPEG EN CUANTO A NIVEL DE CALIDAD	51
4.3.1	Comparación en el intervalo de nivel de calidad recomendada entre 65 y 100.....	51
4.3.2	Comparación en el intervalo de nivel de calidad de tamaño compacto entre 20 y 60.....	53
4.3.3	Comparación en el intervalo de nivel de calidad de tamaño compacto entre 0 y 15.....	55
4.4	FORMATO DE IMAGEN A TRANSMITIR.....	56
4.5	REFERENCIAS.....	57
5	DISEÑO DEL PROTOTIPO DE APLICACION.....	58
5.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	58
5.2	SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS.....	60
5.2.1	Lenguaje de diseño y modelado	60
5.2.2	Lenguaje de programación	61
5.2.3	Método de conexión y transferencia	62
5.3	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	62
5.3.1	Requerimientos hardware	62
5.3.2	Requerimientos funcionales.....	63
5.4	DISEÑO DEL SISTEMA	64
5.4.1	Consideraciones.....	64
5.4.2	Arquitectura MVC (Modelo Vista Controlador)	65

5.4.3	Arquitectura general del sistema.....	66
5.5	REFERENCIAS.....	67
6	DISEÑO DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN	68
6.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO SOFTWARE DE APLICACIÓN.....	68
6.1.1	Diagrama de casos de uso	68
6.1.2	Descripción de casos de uso	70
6.1.3	Diagrama de paquetes.....	72
6.2	INTERFACES DE LA APLICACIÓN	74
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen de 22×12 y matriz numérica correspondiente resultante del proceso de digitalización.....	4
Figura 2. Representación vectorial de una imagen multibanda	5
Figura 3. Representaciones de la misma imagen variando la calidad de la imagen de 640x480 píxeles: (a) Con calidad 100 (b) Con calidad 15 y (c) Con calidad 5 y (d) Con calidad 0.....	6
Figura 4. Digitalización de una señal analógica	8
Figura 5. Captura de una imagen 3D por un dispositivo CCD	8
Figura 6. Tres núcleos representativos de filtros pasa bajo.....	10
Figura 7. Tres núcleos representativos de filtros pasa alto.....	10
Figura 8. Etapas de un sistema de compresión	15
Figura 9. Proceso de transformación de imágenes obtenidas en diapositivas fotográficas en imágenes digitales por intermedio de un escáner	29
Figura 10. Proceso de obtención de imágenes con cámaras digitales y su transferencia a un computador	30
Figura 11. Camara digital Sony Cyber-Shot DSC-F717	40
Figura 12. Extracción del ocular de un microscopio	40
Figura 13. Medición del diámetro interior del tubo ocular	41
Figura 14. Medición del tubo ocular	42
Figura 15. Adaptador Digital LM.....	42
Figura 16. Fijación de la cámara al adaptador digital LM.	43
Figura 17. Adaptador digital DAST717.....	43
Figura 18. Imagen de referencia de la placa 137 en formato TIF de dimensiones 640x480 píxeles.....	49
Figura 19. Comparación entre la calidad y el tamaño del archivo	51
Figura 20. Comparación entre la calidad y el Error Cuadrático Medio.....	52
Figura 21. Comparación entre la calidad y la Relación Señal a Ruido Pico	52
Figura 22. Comparación entre la calidad y el tamaño del archivo	53
Figura 23. Comparación entre la calidad y el Error Cuadrático Medio.....	54
Figura 24. Comparación entre la calidad y la Relación Señal a Ruido Pico	54
Figura 25. Comparación entre la calidad y el tamaño del archivo	55
Figura 26. Comparación entre la calidad y el Error Cuadrático Medio.....	56

Figura 27. Comparación entre la calidad y la Relación Señal a Ruido Pico	56
Figura 28. Arquitectura general del sistema	66
Figura 29. Diagrama general de casos de uso del Usuario en el Servidor.	69
Figura 30. Diagrama general de casos de uso del Sistema	69
Figura 31. Diagrama general de casos de uso del Cliente	70
Figura 32. Diagrama de paquetes del Servidor	72
Figura 33. Diagrama de paquetes del Cliente	73
Figura 34. Interfaz del Servidor	74
Figura 35. Interfaz del Cliente	75

GLOSARIO

ACR (American College of Radiology - Colegio Americano de Radiología): La principal organización de radiólogos, oncólogos y físicos medico clinicos en los Estados Unidos, con más de 3000 miembros.

AMD (Advanced Micro Devices - Micro Dispositivos Avanzados): Compañía encargada en la fabricación de procesadores para computadores personales.

API (Application Programming Interface - Interfaz de Programación de Aplicaciones): Una API es un conjunto de especificaciones de comunicación entre componentes software. Representa un método para conseguir abstracción en la programación, generalmente (aunque no necesariamente) entre los niveles o capas inferiores y los superiores del software. Uno de los principales propósitos de una API consiste en proporcionar un conjunto de funciones de uso general, por ejemplo, para dibujar ventanas o iconos en la pantalla. De esta forma, los programadores se benefician de las ventajas de la API haciendo uso de su funcionalidad, evitándose el trabajo de programar todo desde el principio. Las APIs asimismo son abstractas: el software que proporciona una cierta API generalmente es llamado la implementación de esa API.

ATM (Asynchronous Transfer Mode – Modo de Transferencia Asíncrona): Tecnología de comunicación en red basada en la transferencia de datos por celdas o paquetes de tamaño fijo.

BAAR (Bacilos Ácido Alcohol Resistentes): Grupo de bacterias que son diferenciadas utilizando la coloración Ziehl Nielsen.

BMP Extensión de un fichero gráfico del tipo Bit Map.

BPS (Bits per Second - Bits por Segundo): Media estándar de la velocidad de transmisión de datos.

CCD (Charge Coupled Device - Dispositivo de Carga Acoplada): Sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen.

CCITT (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone - Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico): Organización que determina los estándares de comunicación internacional.

DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine – Comunicaciones e Imágenes Digitales en Medicina): Estándar para la transferencia de imágenes y la información asociada a ellas.

GIF (Graphic Interchange Format - Formato de Intercambio de Gráficos.)

GUI (Graphical User Interface - Interfaz de Usuario Gráfica): Permite acceder a programas al señalar iconos, botones y ventanas en lugar de escribir una cadena de comandos en un indicador de comandos.

INTEL. La mayor empresa de electrónica productora de microprocesadores para computadores personales.

ISO (International Standards Organization / International Electrotechnical Comisión - Organización Internacional de Estándares): la principal organización Internacional de estándares.

IEC (Internacional Electrotechnical Comisión - Comisión Internacional Electrotécnica).

JAI (Java™ Advanced Imaging – Procesamiento Avanzado de Imágenes en Java): API de Java™ que proporciona un conjunto de interfaces para el tratamiento avanzado de imágenes, incluyendo distintas operaciones de procesamiento.

Java™ VM (Máquina Virtual de Java™): es un programa nativo, es decir, ejecutable en una plataforma específica, capaz de interpretar y ejecutar instrucciones expresadas en un código binario especial, el cual es generado por el compilador del lenguaje Java™.

La gran ventaja de esta máquina virtual, es aportar portabilidad al lenguaje de manera que desde SUN se han creado diferentes máquinas virtuales para diferentes arquitecturas y así un programa .class escrito en un Windows puede ser interpretado en un entorno Linux. Tan solo es necesario disponer de dicha máquina virtual para dichos entornos.

JPEG (Joint Photographic Experts Group – Junta del Grupo de Expertos en Gráficos y Fotografía): Estándar para compresión de fotografías.

JPEG 2000. Estándar de compresión de imágenes estáticas.

JRE (Java™ Runtime Environment – Entorno de Ejecución de Java™): Proporciona un subconjunto del lenguaje de programación Java. Es necesario sólo para la ejecución de las aplicaciones desarrolladas en lenguaje Java

LZW (*Lemple - Zif – Welch*): Algoritmo de compresión sin pérdida con el cual se obtienen ficheros muy pequeños.

LZ77. Algoritmo de compresión sin pérdida que permite reducir el tamaño de los archivos sin reducir su calidad.

MODEM. (Modulador - Demodulador). Dispositivo que permite al ordenador transmitir datos a través de líneas telefónicas.

MVC (Model View Controller – Modelo Vista Controlador): es un patrón de diseño de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario, y la lógica de control en tres componentes distintos de forma que las modificaciones al componente de la vista pueden ser hechas con un mínimo impacto en el componente del modelo de datos.

OSI (*Open System Interconnection* – Sistema de Interconexión Abierta): Modelo de comunicación entre sistemas heterogéneos de diferentes estándares.

PNG (*Portable Network Graphics* – Gráficos Portátiles de Red): Formato de imágenes gráficas comprimidas.

PROXY: Hace referencia a un programa o dispositivo que realiza una acción en representación de otro. La finalidad más habitual de esa representación es la de permitir el acceso a Internet a todos los equipos de una organización cuando sólo se puede disponer de un único equipo conectado, esto es, una única dirección IP.

RAM (*Random Access Memory* – Memoria de Acceso Aleatorio): Memoria que lee y escribe, la cual permite el acceso inmediato a los datos.

RETAS: La Red Piloto de Tele Asistencia Sanitaria es un proyecto que permite dar apoyo a los profesionales de la salud del Cauca (Colombia), a sus pacientes y en general a todos los interesados en la tuberculosis, utilizando las tecnologías de la información.

RLE (*Run Length Encoding* – Codificación de Larga Escala). Algoritmo de compresión sin pérdida.

SCSI (*Small Computer System Interface* - Interfaz para Sistemas de Computadores Pequeños). Estándar para discos y equipo periférico para computadores personales.

SOCKET: Designa un concepto abstracto por el cual dos programas (posiblemente situados en computadoras distintas) pueden intercambiarse cualquier flujo de datos, generalmente de manera fiable y ordenada.

Un socket queda definido por una dirección IP, un protocolo y un número de puerto.

SUPER VIDEO. Tipo de señal analógica de video la cual tienen más calidad que el video compuesto ya que el televisor dispone por separado de la información de brillo y la de color, mientras que en el vídeo compuesto se encuentran juntas. Esta separación hace que el cable Super Video tenga más ancho de banda para la luminancia y consiga más trabajo efectivo del decodificador de crominancia.

TCP/IP (*Transmisión Control Protocol / Internet Protocol* - Protocolo de Control de Transmisión/ Protocolo de Internet): Es uno de los protocolos fundamentales en Internet. Muchos programas dentro de una red de ordenadores pueden usar TCP para crear conexiones entre ellos a través de las cuales enviarse datos. El protocolo garantiza que los datos serán entregados en su destino sin errores y en el mismo orden en que se transmitieron.

TIFF (*Tagged Image File Format* - Formato de Archivo de Imágenes Etiquetadas).

UML™ (Unified Modeling Language – Lenguaje Unificado de Modelado): es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido en la actualidad; aún cuando todavía no es un estándar oficial, está apoyado en gran manera por la OMG.

El UML cuenta con varios tipos de modelos, los cuales muestran diferentes aspectos de las entidades representadas.

USB (*Universal Serial Bus* – Bus Serial Universal): Conexión serial bidireccional de alta velocidad entre un computador personal y un periférico que transmite datos a la velocidad de 12 megabits por segundo.

VHS (*Video Home System* - Sistema de Video en Casa).

X.25. Recomendación del CCITT para la interfaz entre un Equipo Terminal de Datos (DTE) y un Equipo de Comunicaciones de Datos (DCE) en una Red Pública de Datos.

RESUMEN

Una de las enfermedades que en los últimos años ha incrementado su aparición es la Tuberculosis, es por esto que se va a enfocar el estudio a la compresión, transmisión, procesamiento y descompresión de las imágenes utilizadas en el diagnóstico de la tuberculosis tomadas a las personas que presentan sintomatologías relacionadas con esta enfermedad.

El desarrollo de aplicaciones que ayuden a prestar el servicio de transporte de imágenes médicas entre pueblos y pequeñas ciudades se ve limitado debido al escaso acceso a redes de datos con altas velocidades de transferencia que pueden ser utilizadas por las instituciones de salud en nuestro país, en donde la mayoría de los centros de atención solo pueden acceder a servicios de este tipo a través de una conexión a Internet mediante acceso telefónico utilizando un MODEM, lo cual restringe la velocidad de transmisión haciendo que el tamaño de las imágenes a enviar sea tenido en cuenta en el estudio.

El estudio y la aplicación de la mejor solución para la transferencia de estas imágenes, que se entiende como el proceso que comprende la captura de la imagen en un punto geográfico, su envío y su visualización en un sitio remoto, ayuda a la toma de decisiones en el entorno clínico y es adecuada a nuestro medio y al tipo de acceso disponible.

Es por esto que se realizó el estudio de los diferentes formatos de imágenes como TIFF, BMP, PNG, JPEG, JPEG 2000, GIF y del estándar DICOM (DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE), lo cual permitió determinar el mejor formato para transmitir las imágenes relacionadas con la Tuberculosis, teniendo en cuenta factores como la velocidad y eficiencia de las redes de telecomunicaciones en nuestro país, lo cual determina el tamaño de los archivos que se desean transmitir. Otro factor importante en la escogencia del formato son las características de las imágenes baciloscópicas, las cuales no requieren de alta definición en los detalles, ya que los bacilos de *Koch* que caracterizan la enfermedad son distinguibles en una imagen sin máxima calidad. Después de analizar estos factores se escogió el formato JPEG con calidad 90 como el formato mas adecuado para realizar la transmisión de las imágenes relacionadas con la

tuberculosis, logrando así un compromiso entre el tamaño del archivo y la calidad visual de las imágenes.

Se desarrolló un prototipo software que permite la captura de las imágenes, su digitalización, compresión, transmisión y despliegue. El prototipo cuenta con una arquitectura Cliente-Servidor en donde el servidor recibe conexiones desde diferentes clientes ubicados en sitios remotos, a través de las cuales los clientes pueden enviar archivos de imágenes junto con la información que será almacenada en una base de datos central ubicada en el servidor. Para la descripción de las características de las imágenes se cuenta con formularios del Comité Regional de la Unión Internacional contra la Tuberculosis y Enfermedades Respiratorias, que permiten enviar información relacionada con ellas, tanto la información como las imágenes son almacenadas en una base de datos para su posterior consulta. Dentro del software se cuenta con herramientas de procesamiento de imágenes que permiten realzar las características de las imágenes de la Tuberculosis a través de la aplicación de operaciones tales como filtros pasa bajo y pasa alto para atenuar o resaltar características, operaciones de brillo y contraste, de escalado, de ecualización y de rotación, con las cuales se logra una mejor presentación de las imágenes.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la globalización de la información permite hacer uso de las redes de telecomunicaciones para mejorar la calidad de vida y tratar de solucionar distintos problemas de la sociedad. Estas tecnologías han permitido que disciplinas como la medicina utilicen los servicios que pueden prestar las redes de telecomunicaciones.

El desarrollo de aplicaciones que ayuden a prestar el servicio de transporte de imágenes médicas entre pueblos y pequeñas ciudades se ve limitado debido al escaso acceso a redes de datos con altas velocidades de transferencia que pueden ser utilizadas por las instituciones de salud en nuestro país, en donde la mayoría de los centros de atención solo pueden acceder a servicios de este tipo a través de una conexión a Internet mediante acceso telefónico utilizando un MODEM, lo cual restringe la velocidad de transmisión haciendo que el tamaño de las imágenes a enviar sea tenido en cuenta en el estudio de la mejor solución.

La transferencia de imágenes médicas, es una solución eficaz para descentralizar la atención médica, debido a la imposibilidad de desplazar especialistas a cada una de las instituciones médicas que existen en nuestro país, permitiendo realizar consultas a expertos a través del envío de imágenes de los exámenes médicos tomados remotamente.

El estudio y la aplicación de la mejor solución para la transferencia de estas imágenes, que se entiende como el proceso que comprende la captura de la imagen en un punto geográfico, su envío y su visualización en un sitio remoto, ayuda a la toma de decisiones en el entorno clínico y permite obtener la más adecuada a nuestro medio y al tipo de acceso disponible.

Una de las enfermedades que en los últimos años ha incrementado su aparición es la Tuberculosis, por esto se va a enfocar este trabajo al estudio de la compresión, transmisión, descompresión y procesamiento de las imágenes utilizadas en el diagnóstico

de la tuberculosis tomadas a las personas que presentan sintomatologías relacionadas con esta enfermedad.

A continuación se presenta el estudio de las imágenes digitales, comprendiendo sus fundamentos básicos, los dispositivos que permitan su captura, los formatos utilizados para su almacenamiento, procesos de mejoramiento para realizar un prototipo de software que permita la transferencia de imágenes, en este caso aplicadas al estudio de la Tuberculosis, desde clientes ubicados en diferentes sitios remotos hasta un servidor ubicado en una sede central donde se facilite su análisis.

En el capítulo 2 se describen los conceptos fundamentales de las Imágenes Digitales y la Tuberculosis. En el capítulo 3 se abordan los formatos de la imagen digital, los cuales permiten guardar las imágenes, el estándar DICOM y las formas de obtener las imágenes utilizadas en el diagnóstico de la tuberculosis. En el capítulo 4 se utilizan los criterios de fidelidad objetivos, tales como el Error Cuadrático Medio, la Relación Señal a Ruido y la Relación Señal a Ruido Pico para determinar cuál es el formato mas adecuado para transmitir las imágenes de la tuberculosis haciendo uso de MODEMs. En el capítulo 5 se describen los diferentes pasos que se tuvieron en cuenta en la realización del prototipo de aplicación que requiere el proyecto, considerando el proceso de desarrollo desde el diseño de la aplicación hasta su implementación y ejecución. Se definen las herramientas adecuadas para el desarrollo del prototipo y las bases que se tuvieron en cuenta para la elección de las tecnologías tanto hardware como software aplicadas en este proceso y, finalmente, se definen los aspectos técnicos que son necesarios para la correcta implementación del sistema desarrollado en nuestro medio. Finalmente el capítulo 6 se presenta el proceso de desarrollo de la aplicación teniendo en cuenta un proceso de desarrollo integral, basado en las herramientas con las que cuenta el lenguaje de modelado UMLTM, mostrando diferentes diagramas de representación de las fases de desarrollo, lo cual permite una visión organizada del proceso de desarrollo.

2 CONCEPTOS BÁSICOS

Cada día resulta más necesario el uso de las Imágenes Digitales en el mundo que nos rodea. La necesidad surge porque son muchos los campos de la ciencia y la técnica que las incorporan en sus servicios, como es el caso de la telemedicina, la telefonía móvil y las cada vez más numerosas aplicaciones de Internet.

En el presente capítulo se describen los conceptos fundamentales de las Imágenes Digitales y la Tuberculosis, ya que su desconocimiento dificulta su utilización y posterior manipulación.

2.1 LA IMAGEN DIGITAL

Desde un punto de vista físico, una imagen puede considerarse como un objeto plano cuya intensidad luminosa y/o color puede variar de un punto a otro. Si se trata de imágenes monocromas (blanco y negro), se pueden representar como una función continua $f(x, y)$ donde (x, y) son sus coordenadas y el valor de f es proporcional a la intensidad luminosa (nivel de gris) en ese punto. Para obtener una imagen que pueda ser tratada por el computador es preciso someter la función $f(x, y)$ a un proceso de discretización tanto en las coordenadas espaciales como en la intensidad, a este proceso se le denomina digitalización, figura 1. [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

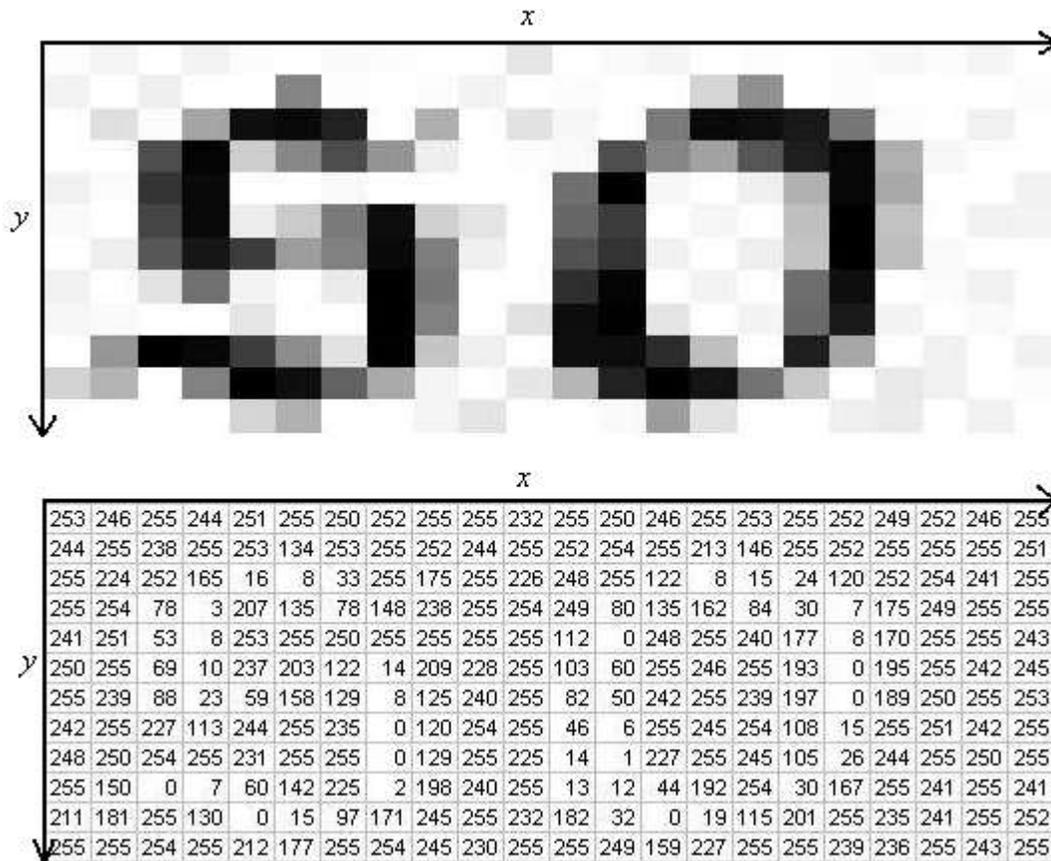


Figura 1. Imagen de 22×12 y matriz numérica correspondiente resultante del proceso de digitalización

La digitalización consiste en la descomposición de la imagen en una matriz de $M \times N$ puntos donde cada uno tiene un valor proporcional a su nivel de gris. Dado que este valor puede ser cualquiera dentro de un rango continuo, es preciso dividir dicho rango en una serie de k intervalos, de forma que el nivel de gris de cada punto sea ajustado a uno de los valores que representa dicho intervalo. Los modernos sistemas de proceso digital de imágenes suelen trabajar con 256 niveles de gris.

Cada elemento en que se divide la imagen recibe el nombre de *pixel* (*picture element*). El número de niveles de gris y las dimensiones de la matriz condicionan la capacidad de resolución de la imagen digital, figura 1.

En el caso de imágenes en color la intensidad puede considerarse como un vector tridimensional cuyas componentes son las intensidades en las tres bandas espectrales: rojo, verde y azul, haciendo referencia en este caso de una imagen multibanda, puesto que la información de la imagen en color se desglosa en tres imágenes correspondientes

a cada una de las bandas mencionadas, como se observa en la figura 2. Para cada una de las bandas se utilizan 8 bits de información, 24 bits en total, lo que da más de 16 millones de posibles combinaciones de colores.

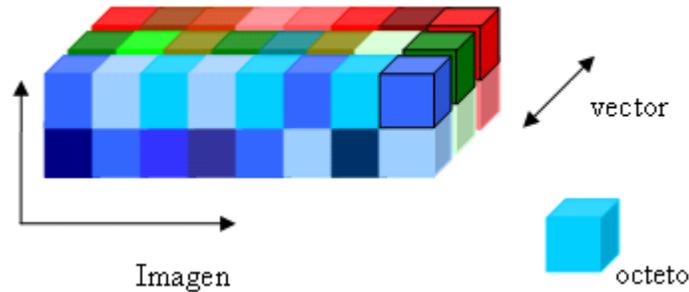


Figura 2. Representación vectorial de una imagen multibanda

Las dimensiones de las imágenes digitales varían en función de las características del sistema empleado. Por lo general se utiliza un byte (8 bits) para almacenar cada píxel, por lo que las intensidades de las imágenes se cuantifican en 256 niveles. Según estos tamaños una imagen digital con 256 niveles de gris y una dimensión de 256 x 256 píxeles, ocupa 65 KBytes de memoria, la misma imagen con una dimensión de 512 x 512 píxeles ocupa 262 KBytes y si se trata de una imagen de 1024 x 1024 ocupa 1 MByte de memoria.

En la figura 3, se muestra la misma imagen con una dimensión de 640×480 píxeles y 24 Bits por píxel, en formato JPEG, con diferente calidad, teniendo en cuenta que la calidad de una imagen se refiere a un número entre 0 y 100. Donde números más altos significan calidad más alta (degradación menor de la imagen debida a la compresión), pero el tamaño de la archivo es más grande, y por el contrario números mas bajos significan una calidad inferior y un tamaño de archivo más pequeño [CIGWE, 2005].

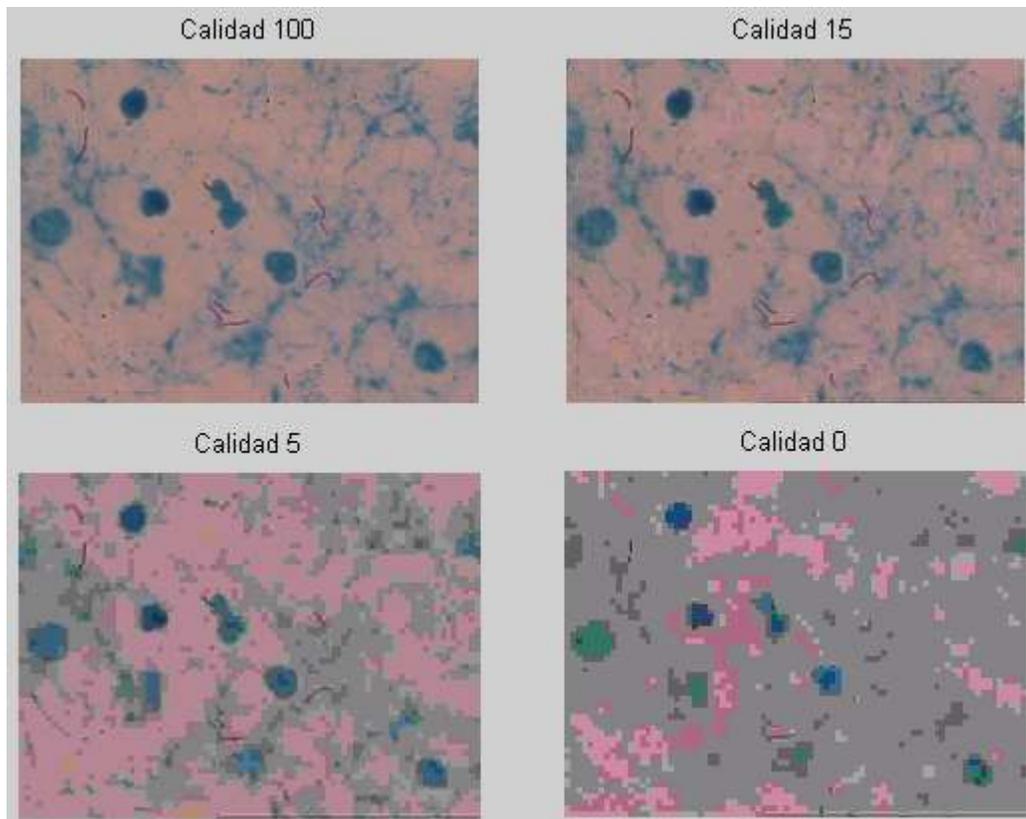


Figura 3. Representaciones de la misma imagen variando la calidad de la imagen de 640x480 píxeles: (a) Con calidad 100 (b) Con calidad 15 y (c) Con calidad 5 y (d) Con calidad 0.

2.2 DISPOSITIVOS DE CAPTURA DE IMÁGENES

Para la adquisición de imágenes digitales se requieren dos elementos básicos. El primero, Dispositivo de Carga Acoplada (*Charge Coupled Device*), es un dispositivo físico que es sensible a una determinada banda del espectro de energía electromagnético (tal como rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, etc.) y que produce una señal eléctrica de salida proporcional al nivel de energía incidente en cualquier instante de tiempo.

El segundo, denominado digitalizador o frame grabber, es un dispositivo para convertir la señal eléctrica continua de salida del dispositivo físico en un conjunto discreto de localizaciones del plano de la imagen y, después en la cuantización de dicha muestra. Esto implica, en primer lugar, determinar el valor de la imagen continua en cada una de las diferentes localizaciones discretas de la imagen y, luego, asignar a cada muestra una

etiqueta entera discreta, que es representativa del rango en el que varía la muestra, [PAJARES, CRUZ, MOLINA, CUADRADO, LÓPEZ, 2004].

Una vez capturada la señal continua y cuantificada en espacio y amplitud, se obtiene una imagen digital, que es como se presenta en el computador, es decir, se tendrá una matriz bidimensional de números enteros.

En la figura 4 se presenta un ejemplo de la cuantización espacial y en amplitud suponiendo que se tiene una señal analógica, que bien podría ser una señal de video analógica, tal como el Super Video¹.

Esta señal analógica de video se convierte a una imagen digital muestreando la señal analógica a intervalos determinados. El procedimiento consiste en medir el voltaje de la señal a intervalos de tiempo fijos. El valor del voltaje en cada instante se convierte a un número que es almacenado y que corresponde a la intensidad de la imagen en ese punto. La intensidad en cada punto depende tanto de las propiedades intrínsecas del objeto que se está viendo como de las condiciones de luz de la escena. Repitiendo este proceso para todas las señales de video que constituyen una imagen, se pueden grabar los resultados obtenidos en el computador, obteniendo una imagen que, en definitiva, es una matriz de números.

Además de las cámaras de televisión, que generan una imagen de video, uno de los sensores más usados para capturar imágenes son los dispositivos de acoplamiento de carga (*Charge Coupled Devices*, CCD). Entre los dispositivos CCD, que casi siempre producen una señal continua de video, cabe distinguir dos categorías: sensores de exploración de línea y sensores de exploración de área. Estos sensores se basan en unos elementos semiconductores llamados *photosites*. Los fotones procedentes de la escena excitan el elemento semiconductor, de forma que el grado de excitación es proporcional a la cantidad de carga acumulada en el *photosite* y, por tanto, a la intensidad luminosa o reflectancia en ese punto.

¹ Tipo de señal analógica de video la cual tienen más calidad que el video compuesto ya que el televisor dispone por separado de la información de brillo y la de color, mientras que en el video compuesto se encuentran juntas. Esta separación hace que el cable Super Video tenga más ancho de banda para la luminancia y consiga más trabajo efectivo del decodificador de crominancia.

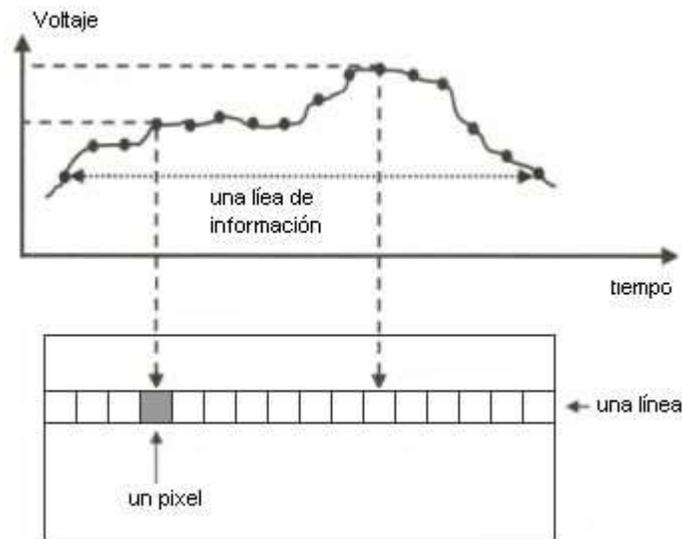


Figura 4. Digitalización de una señal analógica

Estos *photosites* se pueden representar en forma de matriz como se muestra en la figura 5, suponiendo una matriz de *photosites* situados detrás de una lente y sobre los que se proyecta una imagen procedente de la escena 3D. La señal de estos sensores se procesa en el propio sensor (cámara) o en otro dispositivo (tarjeta de procesamiento de imágenes digitales) y los valores digitales se envían al computador.

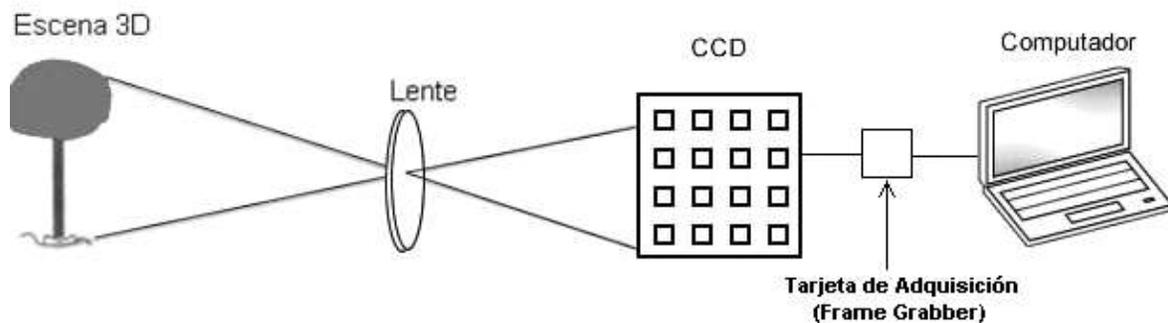


Figura 5. Captura de una imagen 3D por un dispositivo CCD

Entre mas sensores disponga la cámara, mas precisión se obtiene en la reproducción de la imagen. Esto es lo que se conoce como resolución espacial de la imagen.

2.3 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Dentro de lo que se denomina procesamiento de imágenes se incluyen una serie de técnicas que comprenden operaciones cuyo origen es una imagen y su resultado final es otra imagen. El valor del píxel en la imagen de salida puede ser función del valor que tenía en la imagen de entrada, de los valores de sus vecinos o del valor de todos los puntos de la imagen de entrada. El objetivo de estas técnicas es procesar una imagen de tal modo que la resultante sea más adecuada que la imagen original para una aplicación específica. Así, un método que es útil para realzar un determinado tipo de imágenes puede no serlo para otras. Entre las operaciones se tienen operaciones puntuales y operaciones locales:

Operaciones puntuales. El valor de un píxel en la imagen de salida depende del valor de ese mismo píxel en la original. Dentro de éstas operaciones se tienen las denominadas transformaciones de histograma como son: el realce, la linealización y el escalado. Imágenes con poco contraste, cuyo rango de niveles de gris es escaso, se pueden mejorar realizando una expansión de su histograma de niveles de gris. El Histograma es una función discreta que representa el número de píxeles en la imagen en función de los niveles de intensidad, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

Operaciones locales. El valor del píxel en la imagen de salida es función del valor de sus vecinos más próximos y del suyo propio en la imagen original. Se suelen presentar como operaciones alrededor del píxel tratado. El objetivo de estos procesos es modificar las imágenes para mejorar su calidad o resaltar aspectos de las mismas. Comprende filtros de realce y suavizado como: pasa bajo, pasa alto, mediana, laplaciano, gradiente, gaussiano, etc.

El filtro pasa bajo sirve para uniformizar zonas de imagen. Se basa en tomar para cada píxel los valores de sus x vecinos, según la ventana de trabajo definida, ($x=9$ en el caso de una ventana de 3×3 píxeles), y realizar el cálculo de la media de sus valores. Este valor medio se asigna al píxel central en la imagen de salida. Una variante de este filtro es asignar el valor de la mediana en lugar de la media, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

El filtro pasa bajo al no dejar pasar las altas frecuencias (bordes), atenuará estas. El resultado es un desenfoque o desdibujado de los bordes. No obstante, considerando el ruido de la imagen como un elemento no deseado y también asociado a las altas frecuencias, este tipo de filtros actuará muy bien para eliminar píxeles de ruido existentes en la imagen. Se entiende por ruido aquellos píxeles que tienen valores muy diferentes a sus vecinos en regiones muy homogéneas. El ruido procede de funcionamientos erróneos o imperfecciones de algunos elementos en el dispositivo de captura de la imagen, tales como celdas (CCD) bajo mal funcionamiento, o también debido a las impurezas, tales como partículas de polvo, suciedad, imperfecciones, etc., en la óptica del sistema de captura, [PAJARES, CRUZ, MOLINA, LÓPEZ, 2004].

Los siguientes núcleos de convolución caracterizan los filtros pasa bajo:

$$PB_1 \equiv \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad PB_2 \equiv \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad PB_3 \equiv \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 6. Tres núcleos representativos de filtros pasa bajo

Por otro lado los filtros pasa alto al dejar pasar altas frecuencias (bordes), producen un realzado de los bordes de la imagen atenuando las zonas donde no hay cambios bruscos de intensidad.

Los siguientes núcleos de convolución caracterizan los filtros pasa alto:

$$PA_1 \equiv \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad PA_2 \equiv \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad PA_3 \equiv \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 7. Tres núcleos representativos de filtros pasa alto

2.4 COMPRESIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes se representan mediante grandes cantidades de datos. Un imagen de 512 x 512 contiene 262.144 píxeles y si cada color se representa con un byte se necesita un espacio de 786 KBytes. A 25 imágenes por segundo, un minuto de video a esa resolución ocuparía 1,1796 GBytes. El problema se agrava si se tiene en cuenta que los dispositivos actuales (por ejemplo, cámaras fotográficas y de video digitales, escáneres) trabajan a resoluciones muy superiores a la citada. La necesidad de reducir la cantidad de datos para representar imágenes es evidente y esto se soluciona mediante la compresión que puede ser con pérdidas o sin pérdidas.

2.4.1 COMPRESIÓN CON PÉRDIDAS O SIN PÉRDIDAS

El objetivo principal de la compresión sin pérdidas es minimizar el número de bits requeridos para representar la imagen original sin ninguna pérdida de información. Los B bits de cada muestra deben ser recuperados exactamente durante la descompresión.

Por otro lado, en la compresión con pérdidas se admite que la imagen reconstruida no sea exactamente igual a la original, pudiendo de esta manera reducir el tamaño de la representación. Esta pérdida es razonable en la mayoría de las aplicaciones fundamentalmente por tres razones:

- El sistema visual humano puede tolerar cierta pérdida de información sin que se modifique la percepción de la escena.
- Las imágenes digitales que son entregadas a los sistemas de compresión son por sí mismas representaciones imperfectas del mundo real; debido a que se produce cuantificación para obtenerlas.
- La compresión sin pérdidas no puede alcanzar los altos niveles de compresión que se consiguen con la compresión con pérdidas y que son necesarios para muchas aplicaciones.

2.4.2 MEDIDAS DE COMPRESIÓN

En ausencia de cualquier tipo de compresión se requieren MNB bits para representar los valores de las muestras de la imagen; de forma natural se define la tasa de compresión como: [VILLAVERDE, 2004]

$$\frac{MNB}{\|c\|} \quad (2.1)$$

Siendo M el ancho de la imagen, N el alto de la imagen, B la cantidad de bits de información necesarios para representar un solo píxel en una imagen digital (profundidad de bits por píxel) y c la secuencia de bits que contiene la imagen comprimida. Una forma alternativa de definir la tasa de compresión es mediante el número de bits por muestra (*Bits Per Sample*) definido por:

$$\frac{\|c\|}{MN} \quad (2.2)$$

Los actuales métodos de compresión pueden comprimir imágenes naturales a elevadas tasas de compresión con calidades aceptables. Por ejemplo, *SPITH (Set Partition in Hierarchical Trees)* es un método novedoso basado en la transformada *Wavelet*, con el cual se logra una compresión de 167:1, un tiempo de compresión de 5 segundos y una Relación Señal a Ruido Pico de 43,23 dB (un valor aceptable dentro del ámbito médico), con una mamografía de 1024×1024 y 8 bits por píxel [RESULTADOS, 2005].

2.4.3 REDUNDANCIA E INFORMACIÓN IRRELEVANTE

Las imágenes naturales como por ejemplo paisajes, se caracterizan por tener degradados suaves, lo que se traduce en cambios suaves entre los valores de *píxeles* adyacentes. Esto quiere decir que dado un *píxel* $P(x, y)$ todos sus vecinos suelen tener valores muy parecidos. Si se tiene el *píxel* $Q(x + 1, y)$ que es adyacente a $P(x, y)$ cabe suponer que si se representan conjuntamente los valores de las dos muestras (por ejemplo, representando el valor de una y la diferencia de la otra) se necesitarán menos bits que si se representan las dos muestras por separado.

Debido al uso que se haga de la imagen o de la aplicación que se esté usando puede darse el caso de que cierta información contenida en la imagen sea irrelevante:

- **Irrelevancia visual:** si la densidad de muestras excede los límites de la agudeza visual humana en un dispositivo concreto para el ojo humano, el exceso de resolución es irrelevante para el ojo humano

- **Irrelevancias debidas a la aplicación:** en aplicaciones militares y médicas puede existir una región de la imagen que sea la importante y la que se encuentra alrededor sea despreciable

2.4.4 CRITERIOS DE FIDELIDAD

Debido a que la información de interés puede perderse por la eliminación de datos, se requieren métodos que permitan evaluar estas pérdidas. Esta valoración puede hacerse utilizando:

- 1) Criterios de fidelidad objetiva
- 2) Criterios de fidelidad subjetiva.

El primero se refiere, a cuando es posible expresar las perdidas como una función de la imagen de entrada y de salida comprimida, y que posteriormente se descomprime.

Suponiendo que la entrada de una imagen se representa por $f(x, y)$ y $\tilde{f}(x, y)$ represente la aproximación de $f(x, y)$ que resulta de la compresión y posterior descompresión de la imagen de entrada. Luego, el error total entre las dos imágenes con tamaño $M \times N$, es:

$$\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\tilde{f}(x, y) - f(x, y)] \quad (2.3)$$

Y el error cuadrático viene dado por:

$$e_{rms} = \left[\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\tilde{f}(x, y) - f(x, y)]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Otro criterio de fidelidad objetiva es la media cuadrática de la relación señal a ruido de la imagen de salida, ésta dada por:

$$SNR = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \tilde{f}(x, y)^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [\tilde{f}(x, y) - f(x, y)]^2} \quad (2.5)$$

El valor cuadrático medio (*rms*) de la relación señal a ruido, representado por SNR_{rms} , es obtenido tomando la raíz cuadrada de la ecuación (2.5).

Otro criterio usado en la comunidad de compresión de imágenes es el valor *PSNR* (*Peak Signal to Noise Ratio*), el cual se define como:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{e_{rms}^2} \right) \quad (2.6)$$

Donde 255 corresponde al valor máximo utilizado en la escala de grises, (asumiendo 8 bits por píxel).

Los criterios de fidelidad objetivos ofrecen mecanismos sencillos y convenientes para la evaluación de la pérdida de información; pero como complemento a esta valoración objetiva, las evaluaciones basadas en un criterio de fidelidad subjetiva son apropiadas ya que las imágenes son vistas por seres humanos. Lo cual se puede conseguir, mostrando una imagen descomprimida a un conjunto adecuado de observadores y luego promediando sus evaluaciones con la finalidad de medir la calidad de esta. La calidad puede ser determinada por los observadores, basándose en criterios preestablecidos, como por ejemplo: buena, regular, mala y pésima.

2.4.5 ETAPAS EN UN SISTEMA DE COMPRESIÓN

En la figura 8 se muestra de forma esquemática las etapas típicas que sigue un sistema de compresión.

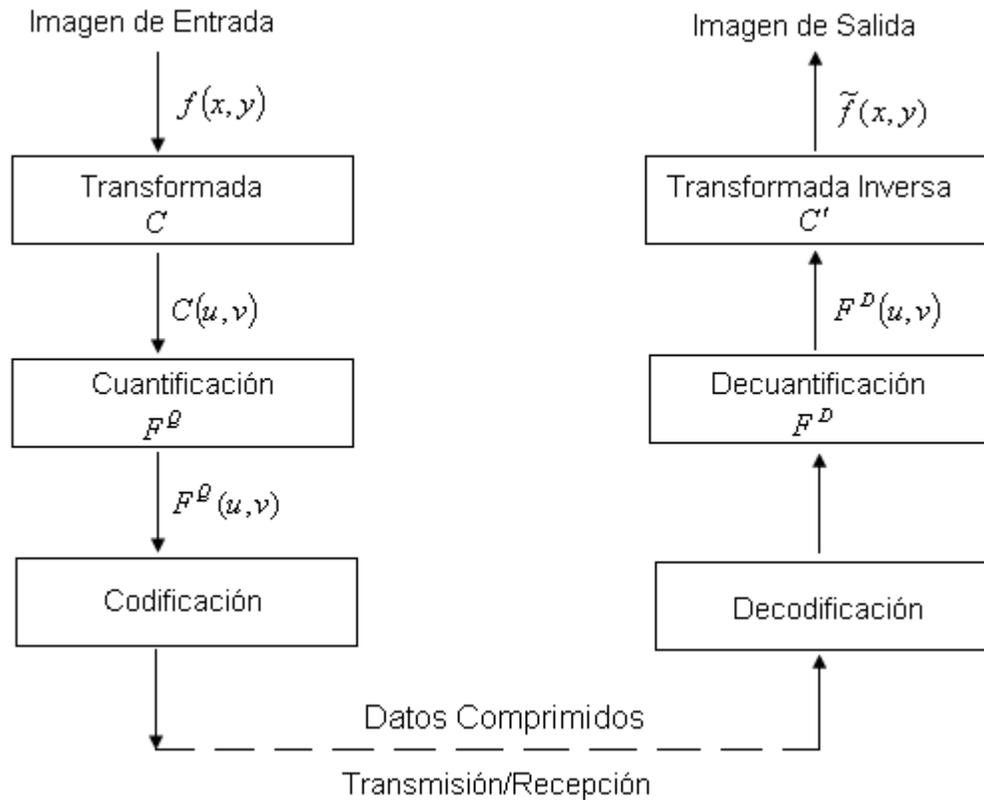


Figura 8. Etapas de un sistema de compresión

El primer paso es transformar los *píxeles* originales $f(x, y)$ de la imagen en un nuevo conjunto de muestras $C(u, v)$, el cual es más adecuado para la compresión. El operador C tiene inverso de forma que el descompresor utiliza la transformada inversa C^{-1} . En el segundo paso se aproximan las muestras $C(u, v)$ mediante la cuantificación definida, [GARCÍA, 2003], por:

$$F^Q(u, v) = \text{Redondeo} \left(\frac{C(u, v)}{Q(u, v)} \right) \quad (2.7)$$

Donde $C(u, v)$ representa cada uno de los coeficientes transformados y $Q(u, v)$ el tamaño del paso de cuantificación.

El propósito de la cuantificación es lograr una compresión mayor, representando las muestras sin más precisión que la necesaria para lograr la calidad de la imagen deseada.

Luego los índices de cuantificación $F^Q(u, v)$ son codificados para dar lugar a la secuencia de bits. Este paso es reversible mediante la decodificación y no introduce distorsión.

La cuantificación es la principal fuente de pérdidas, por lo que la decuantificación realizada en el descompresor no será perfecta, la cual se define por:

$$F^D(u, v) = F^Q(u, v) * Q(u, v) \quad (2.8)$$

Por ejemplo, en la familia de algoritmos JPEG (*Joint Photography Experts Group*) se utiliza la siguiente combinación de algoritmos:

- Transformada discreta del coseno (*Discrete Cosine Transform*, DCT). Una información detallada sobre la DCT se encuentra en el Apéndice B.
- Cuantificación escalar uniforme
- Codificación Fuman

2.5 LA TUBERCULOSIS

La tuberculosis es una enfermedad infecciosa, provocada en la mayor parte de casos por un bacilo denominado *Mycobacterium tuberculosis*, [ENARSON, RIEDER, ANORDOTTIR, TREBUCQ, 2000]. Este bacilo, habitualmente, ingresa al organismo por la inhalación a través de los pulmones. Se propaga desde su localización inicial en los pulmones a otras partes del organismo mediante el flujo sanguíneo, el sistema linfático, las vías aéreas o por extensión directa a otros órganos.

Se presentan dos tipos de tuberculosis:

- Tuberculosis pulmonar. Es la forma más frecuente de esta enfermedad, observándose en más de un 80% de casos. Es la única forma de tuberculosis que puede ser contagiosa.
- Tuberculosis extra-pulmonar. Es la tuberculosis que afecta otros órganos, fuera de los pulmones, frecuentemente la pleura, los ganglios linfáticos, la columna vertebral, las articulaciones, el tracto genitourinario, el sistema nervioso o el abdomen. La tuberculosis puede afectar cualquier parte del organismo.

2.5.1 DIAGNÓSTICO DE LA TUBERCULOSIS

2.5.1.1 ¿Cuál es el valor de la bacteriología?

En todos los casos, los individuos catalogados como pacientes tuberculosos se deben realizar un examen microscópico de esputo (baciloscopia) para determinar si constituyen o no casos contagiosos de tuberculosis. Esto debe hacerse antes de comenzar su tratamiento. La baciloscopia consiste en el examen microscópico directo de una muestra de expectoración, que ha sido extendida sobre una lámina de vidrio y teñida mediante el método de *Ziehl-Neelsen*, [ENARSON, RIEDER, ANORDOTTIR, TREBUCQ, 2000]. Si con este método se detectan bacilos (habitualmente calificados como bacilos ácido-alcohol resistente o BAAR), se concluye que el paciente presenta una tuberculosis con baciloscopia positiva. La baciloscopia es el único método que permite confirmar el diagnóstico de tuberculosis en la mayor parte de los países con escasos recursos económicos. Es importante efectuarla ya que permite identificar correcta y eficientemente los casos contagiosos, que requieren un tratamiento prioritario, ya que en numerosos países en vía de desarrollo, se administra un tratamiento diferente al de los casos no contagiosos.

Todos los pacientes con sospecha de tuberculosis, pero cuyas baciloscopias son negativas, deben ser examinados por un médico o un responsable sanitario competente, antes de comenzar el tratamiento. Con el objeto de determinar si el paciente presenta o no una tuberculosis el especialista puede proceder de la siguiente manera: Si puede hacerlo, debe solicitar radiografías de tórax; si la radiografía de tórax muestra opacidades en los campos pulmonares, compatibles con una infección pulmonar, debe administrarse un tratamiento antibiótico completo de amplio espectro; si los síntomas persisten al cabo de su tratamiento antibiótico, debe realizarse una segunda serie de tres exámenes de esputo y en caso de que sigan siendo negativos, el médico o responsable sanitario pueden decidir tratar el paciente como un caso de tuberculosis pulmonar con baciloscopia negativa y registrarlo como tal.

2.5.1.2 ¿Es útil la radiografía?

El diagnóstico radiológico de la tuberculosis no es fiable. Las imágenes observadas en una radiografía torácica pueden ser debidas a una tuberculosis o a otras enfermedades diversas y la aparición de imágenes radiológicas no es específica de la tuberculosis. Algunos individuos con antecedentes de tuberculosis, actualmente curada pueden

presentar una radiografía de tórax semejante al de una tuberculosis que requiere un tratamiento. Las radiografías torácicas pueden ser útiles en los pacientes con baciloscopias negativas, pero deben ser interpretadas solamente por un médico competente. Una información mas detallada sobre la tuberculosis se encuentra en el apéndice A.

2.6 REFERENCIAS

[CIGWE, 2005]

Conversión de imágenes en gráficos web exitosos. Consulta: Agosto 2005. Accesible en:
http://www.macromedia.com/es/devnet/contribute/articles/convert_images.html

[FERRERES, ROJO, GIL, 2001]

Ferreres Luis Alfaro, Rojo Marcial García, Gil Ana M^a Puras. Manual de Telepatología. Club de Informática Aplicada de la Sociedad Española de Anatomía Patológica Pamplona, 2001. Consulta: Julio 2004. Accesible en:
<http://www.seap.es/telepatologia/manual.htm#indice>

[GARCÍA, 2003]

García Ramos Román. "Compresión de imágenes fijas en MATLAB a través de DCT y WAVELET". Tesis profesional del Departamento de Ingeniería Electrónica y Sistemas, Universidad de las Américas, Puebla. 2003. Consulta: Julio 2005. Accesible en:
http://www.udlap.mx/~tesis/meie/garcia_r_r/

[PAJARES, CRUZ, MOLINA, CUADRADO, LÓPEZ, 2004]

Pajares Gonzalo, Cruz Jesús M de la, Molina José M, Cuadrado Juan, López Alejandro, "Imágenes Digitales. Procesamiento práctico con Java", Alfaomega. Rama, 2004.

[RESULTADOS, 2005]

Resultados. Consulta: Agosto de 2005. Accesible en:
<http://coco.ccu.uniovi.es/immed/compresion/descripcion/resultados/resultados.htm>

[ENARSON, RIEDER, ANORDOTTIR, TREBUCQ, 2000]

Enarson Donald A, Rieder Hans L, Arnadottir Thuridur, Trébuq Arnaud. "Manejo de la Tuberculosis. Guía para los Países con escasos recursos". Unión Internacional Contra la Tuberculosis y Enfermedades Respiratorias. 2000. Consulta: Marzo 2005. Accesible en: http://www.iuatld.org/pdf/en/guides_publications/tb_guide_2000_es.pdf

[VILLAVERDE, 2004]

Villaverde Vázquez Roberto. "Implementación y Prueba del Estándar JPEG 2000". Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Informática, Universidad la Coruña. 2004. Consulta: Agosto 2005. Accesible en: <http://www.des.udc.es/~adriana/Proyecto/memoria.pdf>

3 CAPTURA Y DIGITALIZACIÓN DE LAS IMÁGENES UTILIZADAS EN LA TUBERCULOSIS

Las imágenes digitales han sido ampliamente utilizadas por diversas disciplinas tales como la Medicina, la Biología, la Física y la Ingeniería con el fin de obtener información objetiva de la escena captada por una cámara que permita la toma de decisiones.

En este capítulo se abordan los formatos de la imagen digital, los cuales permiten guardar las imágenes, el estándar DICOM® y las formas de obtener las imágenes utilizadas en el diagnóstico de la tuberculosis.

3.1 FORMATOS DE IMAGEN DIGITAL

Existen tres tipos principales de archivos electrónicos de imágenes: bitmap, gráficos vectoriales y meta archivos. Las imágenes de tipo bitmap se encuentran formadas por miles o millones de píxeles individuales, cada uno representando un punto blanco, negro o de color. Si la imagen es en blanco y negro, solo se necesita un bit por *píxel* para describir la imagen, ya que cada *píxel* solo puede tener uno de dos posibles valores, 0 ó 1. Las imágenes de tipo bitmap pueden tener diferentes profundidades de bits por *píxel*. Una profundidad de bits de n implica que cada *píxel* de la imagen puede tener 2^n posibles valores y por lo tanto, representar 2^n colores distintos. Actualmente, el formato más popular para imágenes bitmap contiene 8 bits por *píxel*, lo que significa que puede representar 256 posibles colores o escalas de grises. Una profundidad de 24 bits por *píxel* podría representar 16'777.216 colores. Esta cantidad de colores es mucho mayor que la que el ojo humano puede captar. Las imágenes de tipo bitmap son especialmente grandes. En una pantalla con una resolución de 640 x 480 píxeles y utilizando una resolución de 24 bits por píxel se generarán archivos de 921 Kbytes, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

Los gráficos vectoriales se usan para trazados artísticos. Se crean y almacenan como una colección de objetos descritos matemáticamente (vectores). Cuando estos objetos se descargan a una impresora, se imprimen a la máxima resolución posible en lugar de

imprimirse como una serie de puntos del mismo tamaño como sucede con imágenes bitmap. Los gráficos vectoriales no suelen utilizarse en el manejo de imágenes en patología, ya que en estos la variedad de colores no es significativa, [PAJARES, CRUZ, MOLINA, LÓPEZ, 2004].

Los meta archivos son archivos gráficos que contienen datos en formatos vectorial y bitmap. Se utilizan para transportar datos vectoriales o datos bitmap entre plataformas distintas de hardware o entre programas de software diferentes, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

3.1.1 Organización de archivos gráficos de tipo bitmap.

Las imágenes de tipo bitmap se pueden almacenar con diferentes formatos, teniendo todos ellos en común el pertenecer a la misma imagen. Lo que hace distinto a los diferentes formatos es la profundidad de bits por *píxel*, y la forma en la que pueden almacenar y transportar la información sobre los rangos de color usados en la imagen.

Algunos formatos como el *Graphic Interchange Format* (GIF), que se verá mas adelante están limitados a un número limitado de colores, 256, que se conoce como mapa de colores. Los 256 colores de la paleta de colores en un formato GIF pueden ser cualquiera de los 16.7 millones de colores posibles (256^3) que se pueden derivar. Cada color está representado por tres valores (*Red, Green, Blue*) y cada fichero GIF contiene su propia paleta de colores. La imagen contiene valores en el rango de 0 a 255 y cada uno de esos valores de la imagen representa el índice para extraer el color correspondiente de la paleta. La información de la paleta se guarda junto con la propia imagen como parte del archivo. De esta manera cuando se abre la imagen otra vez se visualizará de la misma forma en la que fue creada. El exportar la imagen a otro programa o a otro formato produce que los datos de la paleta original se ignoren o se conviertan a una gama de colores diferente, ocasionando problemas en la visualización de la imagen, [PAJARES, CRUZ, MOLINA, LÓPEZ, 2004].

3.1.2 Formatos comunes de archivos de imagen.

3.1.2.1 BMP

El formato *Windows Bitmap* (BMP) es un formato pensado principalmente para plataformas Windows y posee una cabecera que especifica el ancho y alto de la imagen. Es un formato sin pérdidas, que, aunque permite compresión, se utiliza normalmente sin compresión. Los datos se almacenan de abajo hacia arriba y los *píxeles* en el orden Azul / Verde / Rojo. Cada píxel está representado por 24 bits, que corresponden a 8 bits por cada una de las tres bandas R (*Red*), G (*Green*) y B (*Blue*). También soporta la existencia de una sola banda en formato de grises con *píxeles* de tamaño de 8 bits.

Es útil para imágenes de dos dimensiones. No obstante, dado que se usa sin compresión, su tamaño es elevado para el intercambio vía Internet a través de líneas telefónicas convencionales.

3.1.2.2 GIF

El formato *Graphic Interchange Format* (Formato de Intercambio de Gráficos) está limitado a un número reducido de colores, por ejemplo 256, que se conoce como mapa o paleta de colores. Esto hace que el formato GIF sea poco útil para representaciones de datos de imágenes, por la pérdida de información al cuantificar la variedad de colores.

Es el formato por excelencia de imágenes tales como mapas, dibujos, iconos, etc. El formato GIF utiliza la compresión sin pérdida LZW (*Lemple- Zif – Welch*), que hace que se obtengan ficheros muy pequeños, [PAJARES, CRUZ, MOLINA, LÓPEZ, 2004]. Este algoritmo de compresión es especialmente eficiente cuando se trata de imágenes con colores planos, líneas definidas y pocos degradados (exactamente al contrario que JPEG que se verá más adelante).

3.1.2.3 PNG

El *Portable Network Graphics* (Gráficos Portátiles de Red) soporta una profundidad de color máxima de 24 bits (16.7 millones de colores), usa un algoritmo de compresión sin pérdida denominado LZ77 [FG, 2004] que permite reducir el tamaño de los archivos sin reducir su calidad.

El formato PNG incluye las siguientes características:

- Grados de transparencia. No sólo puede hacerse transparente un color, sino que se puede controlar el grado de transparencia.
- Modo Entrelazado². Soporta entrelazado de la imagen y se desarrolla más rápido que en el formato GIF.
- Corrección gamma. La corrección gamma permite que se "afine" la imagen en términos del brillo de color requerido por los fabricantes de monitores específicos.

3.1.2.4 JPEG

Es un método utilizado para comprimir imágenes que tengan un tono de color continuo. Este método fue desarrollado por una organización internacional, la *Joint Photographic Experts Group* (Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía), con el fin de buscar formulas de estandarización. Es un formato de compresión con pérdidas. El formato JPEG comprime imágenes a color o en escala de grises con tono continuo y que tengan una profundidad de bit por *píxel* entre 8 y 24 bits alcanzando compresiones de 10:1 y hasta 20:1, sin pérdidas notables, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

Cuando se comprime y descomprime una imagen con los mismos parámetros de calidad, la degradación resultante es mínima o inexistente. Este formato, permite variar la calidad de las imágenes entre 0 y 100, en donde 0 representa la calidad más baja y 100 representa la máxima calidad posible. En la mayoría de los casos el objetivo del usuario es conseguir archivos que ocupen el menor volumen posible, eligiendo los parámetros de calidad más bajos, y que produzcan imágenes indistinguibles de la original al descomprimir. Estos parámetros varían de una imagen a otra y de un observador a otro, pero pueden darse algunas reglas generales básicas:

- En imágenes de buena calidad, que sean originalmente a color, los valores establecidos por defecto, calidad 75, son casi siempre la mejor opción. Estos valores suelen determinar el nivel más bajo que se puede alcanzar sin que se produzcan alteraciones en una imagen estándar. Si se observan alteraciones con la calidad por defecto se debe subir el nivel.

² En modo entrelazado las imágenes se visualizan poco a poco con baja definición, la cual va progresando hasta tomar la forma original.

- Las imágenes en escala de grises no se pueden comprimir tanto. Como el ojo humano es mucho más sensible a las variaciones de la luminosidad que de la coloración, el método JPEG puede comprimir los datos de los colores más que los datos de la luminosidad (escala de grises). Teniendo en cuenta que los valores de la escala de grises sin comprimir son de tan solo 8-bit por *píxel*, el Factor de Compresión es mucho menor que con imágenes en color. Por otro lado los bordes muy nítidos o muy definidos son especialmente difíciles para el método de compresión JPEG. Los bordes nítidos tienden a difuminarse si no se establecen valores de calidad muy altos. Además las imágenes que contienen grandes áreas de un solo color tampoco se comprimen bien, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

JEPG no representa un solo algoritmo, es más bien una combinación variable de fórmulas complejas de compresión. Capaz también de codificar imágenes que utilicen cualquier espacio de color codificando por separado cada uno de los componentes de cualquier espacio de color, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

3.1.2.5 TIFF

Las especificaciones de los formatos de ficheros gráficos *Tagged Image File Format* (Formato de Archivo de Imágenes Etiquetadas) fueron definidas originalmente por Aldus Corporation en 1986, [FG, 2004].

TIFF es actualmente un formato gráfico estándar utilizado en la mayor parte de los programas de diseño y edición gráfica. Este formato es también nativo del interfaz gráfico de usuario de Microsoft Windows (*Graphical User Interface*).

Los ficheros del formato TIFF pueden utilizar o no métodos de compresión. Pueden comprimirse sin pérdida de información con algoritmos como: *Run Length Encoding* (RLE), *Lempel-Ziv-Welch* (LZW) y *Huffman Encoding* (CCITT). Cuando se comprimen los ficheros del TIFF, son generalmente mucho más grandes que ficheros similares del GIF o del JPEG, sin embargo, proporcionan imágenes de más alta calidad y es debido a esto que muchos editores utilizan los ficheros TIFF como su formato gráfico básico. Pero cuando la compresión utilizada es sin pérdidas, el tamaño de los archivos es relativamente grande, por lo que no es el apropiado para el intercambio por Internet a través de líneas telefónicas convencionales.

Las especificaciones TIFF definen el concepto de línea base para que los programadores sepan que etiquetas deben incluirse en un fichero TIFF, y cuales son importantes. Estas líneas base definen el tipo de imagen que guardan: en blanco y negro, en escala de grises, o en colores. Cada línea base tiene un conjunto mínimo de las etiquetas, que deben estar presentes de forma necesaria en un fichero del formato TIFF, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

TIFF es un poderoso formato gráfico flexible y de grandes posibilidades. Es compatible con todas las plataformas de hardware. Estas características hacen que se le considere como la primera opción para archivar imágenes originales de cualquier tamaño y profundidad de bit por píxel.

3.2 ESTANDAR JPEG 2000

Visto el avance de las tecnologías multimedia a la par de Internet, en 1997 se hizo un llamamiento para aportar contribuciones a un nuevo estándar de compresión de imágenes estáticas, JPEG 2000. Este proyecto sería el encargado de crear un nuevo estándar capaz de tratar con diferentes tipos de imágenes (blanco y negro, escala de grises, a color) con diferentes características (imágenes naturales, médicas, científicas, texto) permitiendo diferentes modelos de computación (cliente/servidor, transmisión en tiempo real) y con un sistema unificado. La realización de este estándar fue coordinada por el grupo JTC1/SC29/WG1 de la ISO/IEC, [VILLAVERDE, 2004].

Es un formato de compresión que puede utilizarse con pérdidas y sin pérdidas. A diferencia de su predecesor JPEG que comprime las imágenes en bloques de 8x8 píxeles, JPEG2000 está basado en una nueva tecnología de compresión denominada *wavelet*, capaz de comprimir una imagen completa a razón de hasta 300:1, para las imágenes en color y 50:1 para las blanco y negro, [NUEVO FORMATO, 2002].

Las características de JPEG 2000 se resumen en los siguientes puntos, [VILLAVERDE, 2004]:

- Mayor calidad a niveles bajos: aunque es deseable tener una calidad alta con cualquier nivel, mejorar la calidad a niveles bajos con respecto a JPEG fue considerado un requerimiento importante para JPEG 2000.

- Compresión de imágenes en tono continuo en blanco y negro: se tiene que poder comprimir componentes de imágenes formados por muestras de 1 bit hasta 16 bits con una arquitectura unificada.
- Transmisión progresiva de los píxeles en calidad y resolución: la transmisión progresiva es deseable cuando se reciben imágenes por una línea de comunicación lenta. Se puede mejorar la calidad de los *píxeles* o aumentar la resolución de la imagen según se van recibiendo datos.
- Compresión con y sin pérdida: es deseable tener compresión con y sin pérdida con una arquitectura unificada. También es deseable obtener una reconstrucción sin pérdida como resultado de una decodificación progresiva.
- Acceso y procesamiento de la secuencia de forma aleatoria: el acceso espacial y el procesamiento sin descomprimir la imagen son características deseadas.
- Robustez frente al error en los bits: es deseable tener robustez frente a errores introducidos por el ruido de los canales de comunicaciones.
- Capacidad de construcción secuencial: permite la codificación de una imagen de arriba a abajo sin la necesidad de tener toda la imagen en un *buffer* (Espacio de memoria). Esta característica es necesaria para implementaciones de baja memoria.

3.3 ESTANDAR DICOM (*DIGITAL IMAGING AND COMMUNICATIONS IN MEDICINE*)

El uso de la informática en aplicaciones clínicas es una constante hoy en día, especialmente en el campo del diagnóstico por imagen. Es por ello que el Colegio Estadounidense de Radiología (*American Collage of Radiology - ACR*) y La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (*National Electrical Manufacturers Association - NEMA*) iniciaron un proyecto para la elaboración de un estándar para la transferencia de imágenes y la información asociadas a ellas que, tras varios intentos dio origen al formato DICOM 3.0, que es el estándar habitualmente usado por las firmas digitales, [BALLESTEROS, 2003].

La gran importancia de este estándar es que da la posibilidad de interconectar sistemas informáticos de diferentes fabricantes (tales como tomografía axial computarizada, resonancia magnética, medicina nuclear y ultrasonidos) y hace posible la comunicación entre ellos; en un hospital donde los aparatos médicos son de muchas marcas diferentes debido a la especialización.

DICOM 3.0 hace posible que los archivos médicos puedan viajar de forma segura entre hospitales, centros de investigación y departamentos. Luego esa información puede ser vista remotamente para que los médicos puedan diagnosticar desde su casa y buscar diferentes opiniones de otros expertos de una forma rápida y sencilla.

En DICOM 3.0, las imágenes en escala de grises tienen 16 bits por píxel (2 Bytes por píxel) y las imágenes en color tienen 24 bits por píxel más 8 bits por píxel de información de intensidad (4 Bytes por píxel). Lo anterior significa que una imagen de diagnóstico en película con certificación ACR tiene un mínimo de 2Kx2K, es decir, 2.048 x 2.048 píxeles para un total de 4.19 millones de píxeles. Cada píxel tiene 2 bytes de información, para un total de 8.38 millones de Bytes por imagen, [GONZÁLEZ, 1999].

DICOM 3.0 acepta la compresión JPEG [NEMA, 2004]. JPEG es bastante bueno, razonablemente rápido para comprimir y descomprimir y está ampliamente implementado. Algunas versiones mejoradas de JPEG permiten una compresión visualmente aceptable a 40:1 a 60:1 y los cálculos obviamente mejoran.

Los objetivos del estándar son:

- Lograr una interfaz de comunicación para todos los dispositivos de imágenes (tomografía, resonancia magnética, ultrasonido, rayos x, etc.)
- Intentar desligar DICOM de las instituciones que lo desarrollan para que realmente pueda ser un estándar independiente
- DICOM 3.0 debe ser aplicable a toda la esfera de las imágenes médicas, desde su transmisión hasta el tratamiento e impresión

De momento la estandarización poco a poco va tomando forma:

- Se define la utilización de protocolos OSI, para asegurar una comunicación eficiente y que soporte una amplia variedad de tecnologías de red basadas en normas OSI, CSMA/CD, ATM, X.25, etc, y TCP/IP como protocolo de transporte, que es abierto y compatible con las redes que se están instalando en los centros sanitarios
- Los estándares de codificación de la información y los datos resultantes de utilizar los Objetos de Información (imágenes, informes, etc.) con las Clases de Servicio (impresión, almacenamiento, etc.), se unifican.

- Técnicas de compresión normalizadas (JPEG con y sin pérdidas)
- Reglas de codificación para construir una secuencia de datos para ser transmitida como un mensaje

3.4 IMÁGENES USADAS EN TELEPATOLOGÍA

Las imágenes patológicas a transmitir pueden ser captadas con cámaras fotográficas analógicas o con cámaras fotográficas digitales. Las imágenes obtenidas con cámaras fotográficas analógicas tienen que ser transformadas de su formato original en archivos digitales y en formatos específicos, por ejemplo TIFF, JPEG, BMP [FERRERES, ROJO, GIL, 2001]. Esto es necesario para que las imágenes puedan ser almacenadas y luego transmitidas electrónicamente con el uso de los computadores. En contraste, las imágenes obtenidas con cámaras fotográficas digitales se encuentran en formatos digitales específicos y pueden ser transferidas y almacenadas directamente a los computadores sin necesidad de la transformación.

3.4.1 Imágenes Fotográficas

Las imágenes obtenidas con cámaras fotográficas convencionales pueden ser del tipo de impresión en papel o del tipo de diapositivas las cuales tienen mejor resolución que las imágenes de papel; en ambos casos se prefiere siempre imágenes en color. Estas imágenes reales se convierten en imágenes digitales usando escáneres de superficie plana o escáneres especiales para diapositivas. Los primeros escanean figuras impresas cuyas imágenes se reflejan cuando son iluminadas. Los segundos escanean imágenes transparentes. Estos escáneres convierten las imágenes reales en imágenes digitales las cuales se transfieren directamente a los computadores a los que están conectados. El proceso se puede observar en la figura 9.

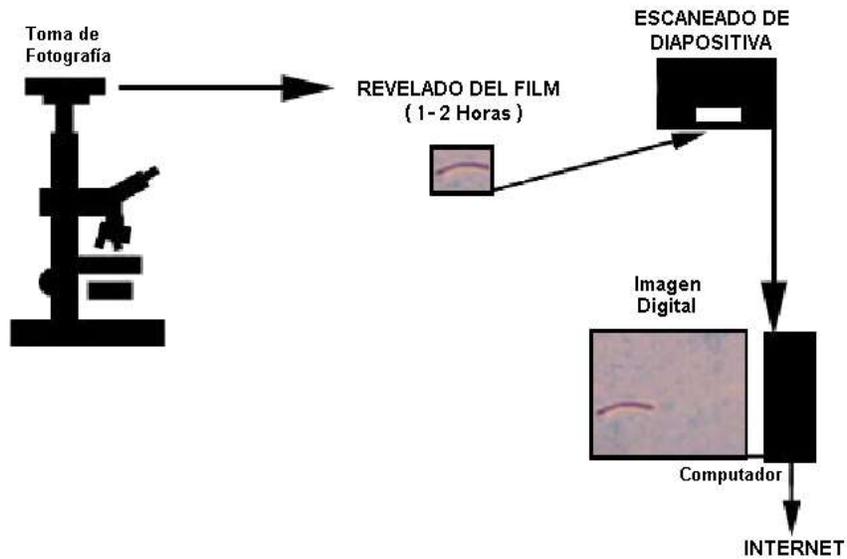


Figura 9. Proceso de transformación de imágenes obtenidas en diapositivas fotográficas en imágenes digitales por intermedio de un escáner

3.4.2 Imágenes digitales

A diferencia de las cámaras analógicas, que funcionan con base en rollo que captura las imágenes, una cámara digital usa sensores electrónicos CCD y un microprocesador para tal fin. Las cámaras digitales tienen incorporados los conversores Analógico/Digital, que permiten transformar los impulsos analógicos en impulsos digitales, y más aún, grabar las imágenes en una memoria interna para ser transferidas posteriormente en forma directa al computador. Así se evita el uso adicional de tarjetas de vídeo especiales y permite conectarlas a los computadores a través del puerto universal USB (*Universal Serial Bus*) o cualquier otro, que incorporan los equipos. En la figura 10 se observa el proceso de obtener imágenes con cámaras digitales.

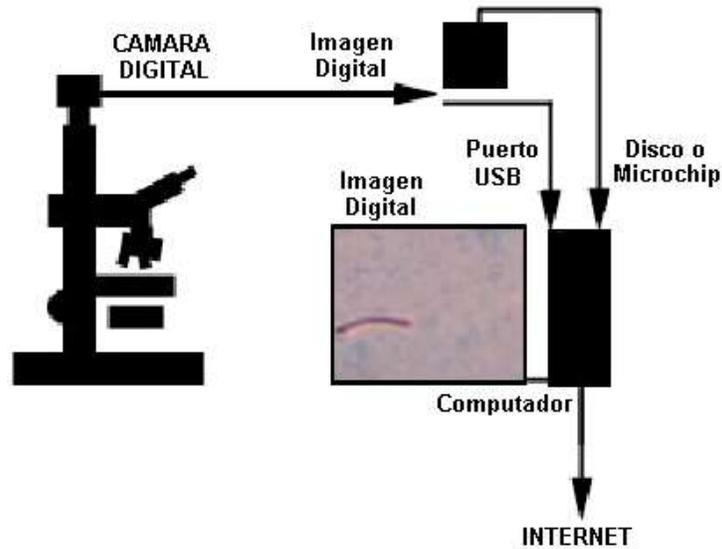


Figura 10. Proceso de obtención de imágenes con cámaras digitales y su transferencia a un computador

Los formatos TIFF, BMP y JPEG son los más usados para almacenamiento de imágenes fotográficas digitalizadas ya que permiten conservar una gran gama de colores de la imagen original y es muy cercana a la que puede captar la retina humana. El formato GIF también puede almacenar imágenes en color, pero debido a su limitado espectro de colores no es recomendado usarlo en fotografía y mucho menos en telepatología. Archivos de 1 ó más MBytes guardados en formatos TIFF o BMP pueden ser reducidos considerablemente usando sistemas de compresión como el formato JPEG.

3.5 OBTENCIÓN DE IMÁGENES DIGITALES

La digitalización de imágenes en la práctica de la Anatomía Patológica tiene innumerables ventajas como las de ser fáciles de almacenar, preservar, duplicar o copiar, pueden incluirse de forma sencilla en informes o presentaciones y transmitirse por líneas de transferencia de datos.

A continuación se analizan las diferentes formas por las que se pueden obtener imágenes digitales, con sus características técnicas y sus principales ventajas y desventajas en el ámbito de la Anatomía Patológica. Todos los atributos de los diferentes sistemas de

obtención de imágenes se deben entender en el contexto de la tarea concreta que se vaya a realizar.

3.5.1 Cámaras de vídeo analógicas

Las cámaras de video analógicas traducen la imagen que capturan en señales analógicas. El CCD (*charged coupled device*) es el elemento fundamental que permite la traducción de la imagen óptica en la señal analógica y en la actualidad es el método más utilizado para inducir esta transformación. Básicamente lo que hace el CCD es convertir fotones en electrones. Las cámaras de vídeo analógicas de más calidad pueden incorporar tres CCDs con el fin de que cada uno analice un color, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

Los potenciales eléctricos obtenidos mediante el CCD se disponen en forma de líneas que posteriormente formarán la imagen. Los mismos potenciales eléctricos pueden ser transformados en señales digitales que podrán ser usadas por el computador para su transformación en imágenes. Para digitalizar la imagen habrá que traducir estas señales analógicas en señales digitales por medio de una tarjeta digitalizadora o tarjeta capturadora.

Básicamente, una señal de vídeo está formada por cuatro componentes distintos, tres de ellos son los componentes rojo, verde y azul que describen los colores o tonos, y el cuarto componente hace referencia a la luminosidad. Para transmitir una imagen es necesario enviar las cuatro componentes, y se pueden combinar y enviar por un único cable, a este modelo se le conoce como “vídeo compuesto” y es el que se suele usar en televisores, reproductores de vídeo VHS o proyectores de video. También es posible enviar las componentes de luminosidad y de color por separado, dando lugar al modelo “S-vídeo”, de mayor calidad y resolución que el anterior, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

En función de la velocidad de reproducción del vídeo, que se mide en cuadros por segundo, y de su resolución horizontal existen definidos tres estándares: PAL, NTSC y SECAM, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001]. En la mayoría de los países africanos, asiáticos y europeos (entre ellos España), además de Australia se trabaja con PAL, mientras que en Estados Unidos, Japón, el sudeste Asiático y algunos países latinoamericanos como Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Venezuela se utiliza el sistema NTSC, y en Francia, algunos países del Este Europa y África se usa el sistema SECAM. En Argentina, Paraguay y Uruguay se usa PAL-N y en Brasil PAL-M, [BSD, 1999].

El sistema PAL y SECAM se usa habitualmente con un formato de video de 625 líneas por cuadro y una tasa de refresco de pantalla de 25 cuadros por segundo y el sistema NTSC usa 525 líneas de resolución horizontal y una velocidad de 30 cuadros por segundo, [PNS, 2005].

A la hora de valorar una cámara de vídeo analógica se deben tener en cuenta, fundamentalmente, la calidad del CCD y la resolución analógica que pueden obtener. La resolución, que por ser analógica se mide en líneas de televisión, debería ser de al menos de 460 líneas. La calidad del CCD viene determinada fundamentalmente por el número de píxeles que tenga, por el tamaño de estos píxeles, por el tamaño total del chip, por el número de bits de los píxeles y por el llamado “ruido” del CCD, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

En la práctica la decisión de la cámara a adquirir se debe basar no solo en los números que presenten las hojas de especificaciones, sino fundamentalmente en probar y comparar las cámaras en el contexto en el que se vaya a trabajar.

En el mercado existen muchas marcas de cámaras analógicas que se pueden adaptar al microscopio. La marca Sony es probablemente la que fabrica una gama más amplia de cámaras: SSC-C350P, SSC-C370P, DXC 950 y DXC 151 entre las más usadas, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001]. También Hitachi: DK800 y DK-HI y otras muchas casas comerciales fabrican excelentes cámaras, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001], pero existe también la posibilidad de adquirir una cámara de vídeo de las que se usan en sistemas de video vigilancia que resultan más económicas y dan una buena calidad de imagen.

3.5.1.1 Principales ventajas de las cámaras de vídeo analógicas

- Las cámaras de vídeo analógicas son fácilmente adaptables a cualquier microscopio trinocular o multicabezal³.
- El campo que obtiene la cámara se refleja fielmente en el monitor del computador al que va conectada. Esto permite previsualizar de forma cómoda el campo, el encuadre, y el enfoque.
- Las cámaras de vídeo analógicas se pueden adaptar a un televisor convencional, obteniendo una imagen de gran calidad para sesiones o exposiciones. Si la cámara solo tiene una salida de vídeo y se quiere conectar tanto a la televisión como al computador basta con poner un adaptador en “T” a la salida.

³ Microscopio de observación múltiple.

- El uso de cámaras analógicas es en la actualidad el sistema más económico para obtener imágenes digitales.
- Tienen la ventaja, con respecto a las cámaras fotográficas, de que se pueden capturar secuencias dinámicas de vídeo que producen una visión panorámica de la preparación.

3.5.1.2 Principales desventajas de las cámaras de vídeo analógicas

- La principal desventaja es sin duda la resolución que se obtiene. La resolución máxima viene limitada a la del sistema PAL (768 x 576)⁴. Por muy buena que sea la cámara esta resolución no se podrá superar.
- Para convertir la imagen analógica que entra en el ordenador en imagen digital es necesario instalar una tarjeta digitalizadora en aquellos casos en los que la tarjeta gráfica del ordenador no disponga de entrada de vídeo.

3.5.1.3 Adaptación al microscopio

La conexión al microscopio se realiza de forma sencilla en microscopios trinoculares. La cámara de vídeo se adapta a la salida superior, la misma que se utiliza para microfotografía convencional.

Es necesario adquirir un elemento intermedio que se adapte por un lado al microscopio y por otro a la cámara de vídeo. A este elemento intermedio se le conoce como “rosca C”, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001]. La rosca C puede ser de imagen directa (1x) o incluir ópticas intermedias que aumentan el campo y disminuyan el desenfoque periférico.

La rosca C y demás adaptadores los suministran las marcas comerciales de los diferentes microscopios. Existen también compañías que fabrican adaptadores a la medida para los casos en los que la marca del microscopio o de cualquier otro elemento no sean los estándares.

⁴ La resolución mide la finura de la imagen y se especifica en líneas horizontales. De las 625 líneas de la TV [PAL] sólo 575 se usan realmente para imagen, pero como las pantallas de TV no son cuadradas y si no se quiere deformar la imagen se tiene la relación $W / H = 4 / 3$, donde W se refiere al ancho y H al alto de la pantalla. Si $H = 576$, $W = (4 / 3) * 576 = 768$. Por eso se dice que la resolución máxima del sistema PAL es 768 x 576. [MARTÍN, 2004].

3.5.2 Cámaras de vídeo digitales

Las cámaras de video digitales utilizan también CCDs para capturar la imagen. Sin embargo, es la propia cámara la encargada de digitalizar la imagen y puede conectarse directamente al ordenador o a un monitor, sin necesidad de tarjeta digitalizadora. Los estándares con los que trabajan las cámaras de vídeo digital son distintos de los de las cámaras analógicas y son del tipo DVD, DVCam de Sony, DVC pro de Panasonic, D1, D2, D3 y D5, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001]. Son sistemas más complejos pero que pueden conseguir mayor resolución y calidad de imagen. A modo de ejemplo se pueden citar las cámaras digitales de la compañía Optronics la cual fabrica dos cámaras de vídeo digitales fácilmente adaptables al microscopio a través de rosca C, la cámara LE –digital con un solo CCD, y la cámara DEI-750D que incorpora 3 CCDs, [OPTRONICS, 2005]. Estas cámaras tienen salidas de vídeo analógico (compuesto o S-vídeo) y salidas de vídeo digital. Pueden alcanzar una resolución de hasta 750 líneas y 1280 x 1024 *píxeles*. Existen también cámaras de vídeo digital de 1344 x 1024 *píxeles* incluso más sensibles como las de la marca Hamamatsu, [HS, 2005]. Algunas de estas cámaras necesitan un control riguroso de la temperatura a la que deben trabajar.

3.5.2.1 Principales ventajas de las cámaras de vídeo digitales

- La resolución en formato digital que obtienen estas cámaras es mayor que la que se puede obtener con las cámaras analógicas.
- Permiten ver la imagen en movimiento, de forma natural y similar a como se ven cuando se mira a través del microscopio óptico.

3.5.2.2 Principales desventajas de las cámaras de vídeo digitales

- Requiere mucha memoria en el computador para trabajar con vídeo digital en tiempo real. Además, el computador debe ser de muy altas prestaciones para poder manejar esta información a una velocidad y a una resolución razonable.
- Una vez obtenidas las imágenes, la posibilidad de enviarlas en tiempo real a través de líneas convencionales es complicado, debido a que estas líneas no tienen suficiente ancho de banda para soportar el envío de tanta información.

3.5.3 Cámaras fotográficas digitales

La fotografía digital representa la posibilidad de simplificar, abaratar y mejorar ciertas tareas que se realizan en Anatomía Patológica. Con respecto a la fotografía tradicional poder prescindir del proceso de revelado de la película y observar la imagen que se ha capturado de forma inmediata supone un avance pues, de esta forma, se pueden seleccionar, comparar y componer imágenes de forma sencilla.

3.5.3.1 Principales ventajas de las cámaras fotográficas digitales

- La principal ventaja es la gran resolución que pueden obtener, actualmente las cámaras fotográficas digitales incorporan CCDs con capacidades de hasta 20 megapíxeles, [CCD, 2005]. Las fotografías que se pueden capturar a estas resoluciones ocupan una gran cantidad de memoria y por lo tanto pueden no ser manejables para su uso en Internet o para enviarse a través de líneas telefónicas convencionales. Por ejemplo, una imagen obtenida a 1280 x 960 puede ocupar sin comprimir 3.6 megabytes en formato TIFF. Sin embargo, las imágenes se pueden comprimir y obtener un resultado satisfactorio.
- La conexión al computador es más sencilla y con menor pérdida de calidad que con las cámaras analógicas. Esto se debe a que, al no necesitar una tarjeta digitalizadora, se pueden utilizar conexiones estándar del computador, como los puertos USB o las tarjetas SCSI (*Small Computer System Interface*).
- Muchas de las cámaras fotográficas digitales del mercado pueden ser adaptadas para usarse dentro del laboratorio para diversas funciones, tales como para obtener fotografías microscópicas, macroscópicas, de radiografías, textos o láminas.

3.5.3.2 Principales desventajas de las cámaras fotográficas digitales

- El precio es en general más elevado que el de las cámaras de vídeo analógicas. Sin embargo, las cámaras fotográficas digitales que se encuentran en el mercado para uso general han experimentado un significativo abaratamiento en los últimos años. En este sentido, la posibilidad de montar este tipo de cámaras en determinados microscopios se debe de tener en cuenta si se busca una opción relativamente económica y versátil.
- Muchas de las cámaras al ser montadas en el microscopio se quedan con el visor de LCD mirando o apuntando para arriba, lo que resulta muy incómodo a la hora de comprobar el campo y el enfoque. Sin embargo, esto se puede corregir enviando la imagen del visor a un monitor de computador.

3.5.3.3 Adaptación al microscopio

Las cámaras fotográficas digitales se conectan al microscopio mediante un elemento intermedio que en general debe ser de la misma marca del microscopio y que se adapta a una máquina de fotos también de la misma marca. Este ocurre con las cámaras de Olympus® y Nikon®. Existen también cámaras que pueden conectarse directamente a la rosca C de cualquier microscopio como la AxioCam® de Carl Zeiss o la Polaroid Ie®, [FERRERES, ROJO, GIL, 2001].

En fotografía digital convencional se le suele dar mucha importancia a la tarjeta de memoria que posee la cámara fotográfica debido a que las imágenes obtenidas a gran resolución ocupan mucha memoria. Sin embargo este caso no es un punto de tanta trascendencia ya que la cámara puede estar siempre conectada al computador y se puede hacer una descarga de ficheros fácilmente. Es importante que la conexión se pueda hacer al puerto USB del ordenador o a través de una tarjeta SCSI ya que se debe tener en cuenta la velocidad de descarga de los ficheros.

Para adaptar una cámara comercial de uso general al microscopio resulta muy útil comprobar que la cámara tenga una salida para conectar la imagen del visor a un monitor. Casi todas las cámaras tienen esta salida que permiten ver las imágenes en un monitor de computador como si fuera vídeo.

3.5.4 Uso de cámaras fotográficas digitales convencionales, sin adaptador

Las principales ventajas de usar las cámaras digitales para obtener imágenes del microscopio, sin necesidad de adaptador, son el coste y el que la misma cámara puede ser utilizada en diferentes microscopios: microscopios de disección, de contraste de fase, de inmunofluorescencia o de óptica normal y para fotos de piezas macroscópicas. Se puede utilizar cualquier tipo de cámara digital que posea un zoom óptico de 3x o superior. Para tomar fotografías con este sistema se sitúa la cámara acoplada a uno de los oculares del microscopio. Luego se ajusta la posición de la cámara, sujetándola a mano o con trípode, para obtener el campo en el visor. En este momento se ve un anillo negro periférico a la imagen. Para evitarlo se activa el zoom al máximo. Después se aprieta el disparador levemente para que funcione el autofocus. Si este no es capaz de enfocar se puede ajustar ligeramente el foco del microscopio hasta que consiga el punto de enfoque óptimo. Una vez enfocado se dispara para capturar la imagen.

Lo más complicado de este sistema es ajustar la cámara de forma que se pueda apuntar exactamente al campo que interesa fotografiar. Además el campo queda notablemente reducido. Sin embargo, a pesar de que resulte un método laborioso, puede ser útil, especialmente para microscopios que no permiten la posibilidad de adaptar un sistema fijo de fotografía.

3.5.5 Escáneres

Dentro del campo de la Telepatología⁵ los escáneres pueden ser utilizados con dos fines principales: por un lado pueden servir para la digitalización de imágenes a partir de un formato gráfico en papel, diapositiva, transparencia o negativo, como es el caso del escáner hp scanjet 3970, [SCANJET, 2005]. Por otro lado, una aplicación muy práctica para el patólogo es la obtención de imágenes directamente desde una preparación histológica, utilizando la plaqueta como si fuera una diapositiva.

Siempre que el escáner lo permita se debe capturar la imagen a 24 bits de color (16,8 millones de colores posibles). Esto proporciona una imagen más real que si la captura se efectúa a 8 bits de color que produce a veces imágenes un poco granuladas. El inconveniente de capturar a 24 bits de color es que se obtienen archivos de gran tamaño. Sin embargo, estos archivos pueden ser comprimidos con un proceso JPEG que los reduce de forma muy notable.

En cuanto a la resolución, también conviene escanear a una resolución alta, aunque esto resulte en archivos grandes. En casos en los que la imagen vaya a ser usada solo para una página web, por ejemplo, se puede escanear a una resolución relativamente baja (100 puntos por pulgada).

Es conveniente usar el balance de color y de contraste automáticos del escáner. Es mejor hacer las correcciones que se estimen oportunas en un proceso posterior mediante programas de procesamiento de imágenes.

⁵ La Telepatología es la rama de la Telemedicina que consiste en la transmisión de imágenes de anatomía patológica a través de sistemas de telecomunicaciones, con fines de consulta, investigación, diagnóstico o docencia, [MARTINEZ, FERRERES, MARTÍN, REYES, 2003].

3.5.6 Transferencia de imágenes al computador

Los sistemas de Telepatología, se basan en la transmisión a distancia de imágenes susceptibles de permitir un diagnóstico anatomopatológico. Generalmente la fuente de estas imágenes es un microscopio; y la forma de obtención de las mismas una cámara fotográfica o de vídeo. Las imágenes que se obtienen de los microscopios deben trasladarse a un computador, desde donde se podrán realizar las funciones de edición, y emisión a distancia, para esto es necesario, que el microscopio, dotado de un sistema de captura de imágenes, esté en conexión con un computador.

3.5.6.1 Requerimientos mínimos y óptimos de hardware

La tecnología informática avanza a un ritmo espectacular, y de año en año surgen nuevos procesadores más veloces, discos y memorias con capacidad de mayor almacenamiento. Los procesadores más utilizados son los Pentium IV de INTEL y los Athlon de AMD que funcionan a velocidades que oscilan entre los 2.13 Ghz y 3.0GHZ, [LISTADO, 2005].

Un componente esencial de los ordenadores es la memoria RAM. Los computadores actuales de gama alta incorporan en torno a 512 Megabytes, lo que resulta adecuado para nuestras necesidades. Si el computador es más antiguo y dispone únicamente de 128 Megabytes, puede ser necesario incorporar una cantidad suplementaria, lo que puede hacerse adquiriendo un nuevo módulo de memoria, que se incorpora a la placa base.

El disco duro es otro de los componentes que evoluciona rápidamente, multiplicando su capacidad con el paso del tiempo, y es esencial para poder disponer de un adecuado sistema de Telepatología. En la actualidad los discos duros convencionales pueden ya almacenar hasta 300 Gigabytes de información, [LISTADO, 2005].

El tipo de información que se emplea determina esencialmente el volumen de almacenamiento necesario. Por ejemplo, una sola fotografía sin comprimir, de un tamaño de 800 x 600 píxeles, ocupa aproximadamente 1.4 Megabytes de información que reflejan sus 480000 píxeles, cada uno de ellos definido con su escala de colores. Y para definir los colores de cada píxel se requieren 3 bytes de información. Por tanto 800 x 600 x 3 equivalen a 1.440.000 bytes. Afortunadamente las imágenes son susceptibles de manejarse con sistemas de compresión de información, que reducen sustancialmente estos volúmenes.

En cualquier caso un computador pensado para equipar un sistema de Telepatología debe incorporar un disco duro de elevada capacidad y complementarse con otro sistema de almacenamiento de información como podría ser un quemador de discos compactos, que permita almacenar la información que genere el sistema de Telepatología.

Otro equipo importante es el MODEM, imprescindible para realizar la conexión a Internet y conectar un computador con otros computadores a través de la línea telefónica. Los MODEMS puede ser internos o externos, la decisión de escoger dichos módems esta en función de la calidad de velocidad y precio. Actualmente se tiene hasta una velocidad de 56 Kbps para descargas y 48 Kbps para cargas.

3.6 ÓPTICA INTERMEDIA DE ALTA CALIDAD PARA CONECTAR UNA CÁMARA DIGITAL CON UN MICROSCOPIO

El adaptador digital LM [OICDM, 2004] es una conexión fácil de conectar y económica entre las camaras digitales Nikon®, Sony®, Olympus®, Canon®, Fujifilm®, Konica Minolta®, Kodak®, JVC®, Pentax® y Panasonic®, y un microscopio para imágenes de alta calidad. Disponible para todo microscopio de rosca C-Mount, de tubo estandar (diámetro interior de 30 mm), o de tubo foto de un diametro de 37 ó 38 mm.

A continuación se describe el procedimiento para conectar la cámara digital Sony Cyber-Shot DSC-F717, [DSC, 2004] que se muestra en la figura 11, con un microscopio de las características anteriormente mencionadas.



Figura 11. Camara digital Sony Cyber-Shot DSC-F717

3.6.1 Adaptación a un microscopio sin tubo fotográfico

Si el microscopio no dispone de un tubo fotográfico y se quiere conectar la cámara digital Sony Cyber-Shot DSC-F717, se realizan los siguientes pasos:

- Quitar el ocular, como se indica en la figura 12



Figura 12. Extracción del ocular de un microscopio

- Medir el diámetro interior del tubo ocular

La medición del diámetro interior del tubo ocular se realiza con un pie de rey o con una regla, como se muestra en la figura 13.



Figura 13. Medición del diámetro interior del tubo ocular

- Medir el diámetro exterior del tubo

Si el microscopio tiene un diámetro exterior de 24,2 mm a 25,4 mm, se tienen las siguientes soluciones para la cámara digital Sony Cyber-Shot DSC-F717, dependiendo si el tubo ocular del microscopio tiene una altura mínima de 25 mm o menor de 25 mm, como lo indica la figura 14:



Figura 14. Medición del tubo ocular

Si el tubo ocular del microscopio tiene una altura mínima de 25 mm, se coloca el adaptador digital LM con el tubo adaptador TUSTA sobre el tubo ocular y se fija con el tornillo de cabeza moleteada⁶, como se observa en la figura 15. Por medio de esta conexión fija, la unidad cámara-adaptador ya no puede moverse. Esto es especialmente beneficioso para tubos que difieren del diámetro interior estandarizado de 23,2 mm.



Figura 15. Adaptador Digital LM

⁶ Los tornillos de cabeza moleteada ofrecen la facilidad de ensamblaje y desensamblaje sin herramientas para muchas aplicaciones.

Después se fija la cámara digital al adaptador digital LM para obtener las respectivas fotografías como se observa en la figura 16.



Figura 16. Fijación de la cámara al adaptador digital LM.

Si el tubo ocular tiene una altura menor de 25 mm se mide el diámetro interior del tubo. Para un diámetro interior de 23,2 mm se necesita el adaptador digital DAST717, con óptica refinada integrada para la cámara digital Sony CyberShot F717, el cual se muestra en la figura 17.



Figura 17. Adaptador digital DAST717

Para un diámetro interior diferente al anteriormente mencionado existen adaptadores digitales para acoplar la cámara digital Sony CyberShot F717.

3.7 REFERENCIAS

[BALLESTEROS, 2003]

Ballesteros Herranz Fernando. Desarrollo de Aplicaciones DICOM para la Gestión de Imágenes Biomédicas. Consulta: Agosto de 2005. Accesible en:
<http://www.elai.upm.es/spain/Investiga/GCII/personal/fballesteros/Dicom.pdf>

[BSD, 1999]

Broadcasting System Details. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:
<http://www.ee.surrey.ac.uk/Contrib/WorldTV/broadcast.html>

[CCD, 2005]

CCD. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:
<http://es.wikipedia.org/wiki/CCD>

[DSC, 2004]

Sony DSC-F717 Digital Camera Specifications. Consulta: Julio de 2004. Accesible en:
http://www.dpreview.com/reviews/specs/Sony/sony_dscf717.asp

[FERRERES, ROJO, GIL, 2001]

Ferreres Luis Alfaro, Rojo Marcial García, Gil Ana M^a Puras. Manual de Telepatología. Club de Informática Aplicada de la Sociedad Española de Anatomía Patológica Pamplona, 2001. Consulta: Julio 2004. Accesible en:
<http://www.seap.es/telepatologia/manual.htm#indice>

[FG, 2004]

Formatos Gráficos. Consulta: Julio de 2004. Accesible en:
<http://www.fotografiapractica.com/formatos.php>

[GONZÁLEZ, 1999]

González Fernando Martín. Workstations, Redes, Telerradiología, PACS y algo más. Consulta: Septiembre 2004. Accesible en:
<http://64.233.179.104/search?q=cache:2HTShNUPgwUJ:www.diagnostico.com.ar/diagnostico/dia085/d-wrt085.htm+Workstations,+Redes,+Telerradiolog%C3%ADa,+PACS+%2B+primera+parte&hl=es>

[HS, 2005]

High Sensitivity. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:

<http://sales.hamamatsu.com/en/products/system-division/cameras/high-sensitivity.php>

[LISTADO, 2005]

Listado de partes. : Diciembre de 2005. Accesible en:

http://www.compugreiff.com/scripts/listado_partes.php

[MARTÍN, 2004]

Martín Fernando. Apuntes de Procesado de Imágenes. “TEMA 1: Colorimetría y Captura de Imagen”. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:

http://www.gts.tsc.uvigo.es/pi/Colorimetria_Captura.pdf

[MARTINEZ, FERRERES, MARTÍN, REYES, 2003]

Martínez Enrique Poblet, Ferreres Luis Alfaro, Martín Alejandro Pascual, Reyes Casado Yolanda. “Telepatología estática”. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:

<http://www.pgmacline.es/revpatologia/volumen36/vol36-num3/pdf%20patologia%2036-3/36-03-03.pdf>

[NEMA, 2004]

National Electrical Manufacturers Association. Digital Imaging and Communications in Medicine. Part 5: Data Structures and Encoding. Consulta: Septiembre 2004. Accesible en:

http://medical.nema.org/dicom/2004/04_05PU.PDF

[NUEVO FORMATO, 2002]

Nuevo Formato Gráfico JPEG2000. Consulta: Agosto de 2004. Accesible en:

<http://www.hispamp3.com/noticias/noticia.php?noticia=20020408175218>

[OICDM, 2004]

Óptica intermediaria de alta calidad para conectar una cámara digital con un microscopio. Consulta: Agosto 2004. Accesible en:

http://www.lmscope.com/index_es.html

[OPTRONICS, 2005]

Microscope Video Cameras. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:

<http://www.optronics.com/products/commerce.exe?search=action&category=2060&keywords=all&template=Templates/Category.html>

[PAJARES, CRUZ, MOLINA, CUADRADO, LÓPEZ, 2004]

Pajares Gonzalo, Cruz Jesús M de la, Molina José M, Cuadrado Juan, López Alejandro, "Imágenes Digitales. Procesamiento práctico con Java", Alfaomega. Rama.

[PNS, 2005]

PAL, NTSC and SECAM Comparisons. Consulta: Diciembre 2005. Accesible en:

<http://www.high-techproductions.com/pal,ntsc.htm>

[SCANJET, 2005]

Escáner digital de superficie plana hp scanjet 3970 (Q3191A) – Especificaciones.

Consulta: Diciembre 2005. Accesible en:

<http://h10010.www1.hp.com/wwpc/es/es/sm/WF06b/6459-6779-6781-6781-6789-381133-929267.html>

[VILLAVERDE, 2004]

Villaverde Vázquez Roberto. "Implementación y Prueba del Estándar JPEG 2000".

Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Informática, Universidad la Coruña. 2004. Consulta:

Agosto 2005. Accesible en:

<http://www.des.udc.es/~adriana/Proyecto/memoria.pdf>

4 ANÁLISIS DE LOS FORMATOS DE IMÁGENES

Uno de los principales problemas que se plantean a la hora de guardar una imagen es la elección del formato más adecuado, ya que el tiempo de transmisión de una imagen es directamente proporcional al tamaño del archivo e inversamente proporcional a la velocidad y eficiencia del medio de transmisión.

En este capítulo se utilizan los criterios de fidelidad objetivos, tales como el Error cuadrático Medio, la Relación Señal a Ruido y la Relación Señal a Ruido Pico para determinar cuál es el formato más adecuado para transmitir las imágenes de la tuberculosis haciendo uso de MODEMs. Para el análisis de los formatos se toma como referencia la imagen de un examen microscópico de esputo (baciloscopía) realizado a un individuo que presenta sintomatología de la tuberculosis.

La comparación se hace entre los formatos más comunes que acepta MATLAB, tales como TIFF, BMP, PNG y JPG con diferentes calidades, usando como referencia una imagen en formato TIFF de dimensiones 640 x 480 que tiene 24 bits por *píxel* capturada con la cámara digital de video JVC TK-c1380u, el microscopio marca Nikom Microphot y la estación Leica Q550 IW⁷.

Dichas comparaciones se hacen antes de enviar las imágenes por la línea telefónica utilizando el prototipo de software de transmisión de imágenes⁸, con el objetivo de determinar el mejor formato de imagen para transmitir y obtener unas medidas de criterios objetivos de fidelidad que proporcionen valores de referencia antes de transmitir las imágenes.

⁷ La estación de trabajo de imágenes Leica Q550 IW está diseñada para las exigentes aplicaciones de microscopía. Funciona con el software de imágenes Leica Qwin que ofrece una solución completa para procesamiento y análisis de imágenes. Con la integración de las funciones del microscopio mejora la productividad del laboratorio a través de la automatización de las tareas, [LEICA, 2005].

⁸ Prototipo de software de transmisión de imágenes desarrollado en este proyecto.

4.1 SELECCIÓN DE LOS FORMATOS A UTILIZAR EN TELEPATOLOGÍA

Las imágenes de Tomografía Computarizada tienen una resolución de 512*512 y 2 Bytes por píxel, las de Rayos X una resolución de 2500*2500 y 2 Bytes por píxel, las de Resonancia Magnética 256*256 y 2 Bytes por píxel y una imagen medica en formato DICOM con certificación ARC tiene un mínimo de 2000*2000 píxeles y 2 bytes por píxel, [GONZÁLEZ, 1999], para un total de 8 Megabytes por imagen, con lo cual se necesitaría mucha RAM (Memoria de Acceso Aleatorio), monitores con una resolución de 2000*2500 y, suponiendo una velocidad de transferencia de 5 KBytes por segundo (velocidad promedio máxima aproximada de transmisión de un MODEM calculada a partir de un promedio de 3 Mbytes cada 10 minutos), 26.7 minutos de transmisión por cada imagen, lo cual indica que para trabajar con este formato, se necesitarían equipos de características técnicas muy avanzadas y horas de conexión para la transmisión de varios exámenes. Afortunadamente el Estándar DICOM 3.0 acepta JPEG el cual es bastante bueno, razonablemente rápido para comprimir y descomprimir y está ampliamente implementado, y JPEG 2000, pero la mayoría de las estaciones de trabajo no tienen integrado el respectivo plugin para su respectiva visualización, [GONZÁLEZ, 1999].

Por lo tanto, ya que las imágenes medicas en formato DICOM tienen un gran tamaño y aunque JPEG 2000 tiene mejores tasas de compresión que JPEG pero presenta inconvenientes de visualización en las estaciones de trabajo, los formatos TIFF, BMP, JPEG y PNG son opciones validas en la Telepatología. El formato GIF no es una opción valida ya que esta limitado a un número reducido de colores.

4.2 COMPARACIONES DE LOS FORMATOS SELECCIONADOS

El formato TIFF es un formato que, al utilizar compresión sin perdida de datos, es bueno para almacenar las imágenes de referencia. La imagen de referencia es una imagen de alta calidad que será utilizada para realizar las distintas comparaciones.

En la figura 24 se muestra la Imagen de referencia de la placa 137 en formato TIFF de dimensiones 640x480 *píxeles* con 24 bits de profundidad.

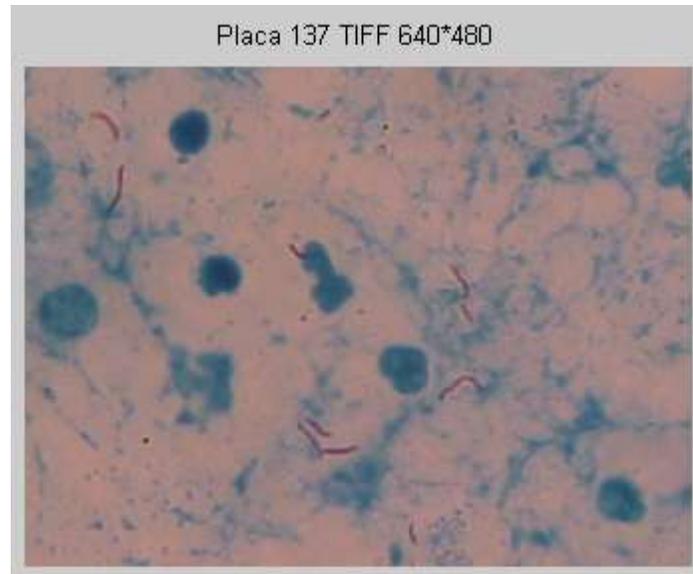


Figura 18. Imagen de referencia de la placa 137 en formato TIF de dimensiones 640x480 píxeles

Las comparaciones de los formatos seleccionados se realizan utilizando criterios de fidelidad objetiva tales como el Error Cuadrático Medio (MSE – *Mean Square Error*), la Relación Señal a Ruido (SNR – *Signal to Noise Ratio*) y la Relación Señal a Ruido Pico (PSNR- *Peak Signal to Noise Ratio*) explicados en el capítulo 2.

El Factor de Compresión es la relación entre la longitud del archivo original y del archivo comprimido, lo cual se expresa como:

$$FC = \frac{O}{C} \quad (4.1)$$

Donde O es el tamaño de la imagen original y C es el tamaño de la imagen aproximada.

La información detallada sobre las medidas objetivas de las comparaciones de los formatos seleccionados se encuentra en el Anexo B.

4.2.1 Comparación entre el formato TIFF y el formato BMP

Debido a que BMP no soporta ninguna compresión, se presenta un Error Cuadrático Medio igual a 0 entre la imagen de referencia en formato TIFF y la imagen en formato BMP y una Relación Señal a Ruido Pico infinita, medidas obtenidas aplicando los criterios de fidelidad objetivos mencionados anteriormente.

Es importante tener presente que la Relación Señal a Ruido Pico - PSNR es inversamente proporcional al Error Cuadrático Medio - MSE, de acuerdo a la formula 2.6, por lo tanto entre mas pequeño sea el Error Cuadrático Medio entre las imágenes, la Relación Señal a Ruido Pico será mayor y permitirá determinar cual formato es el mas indicado para transmitir la imagen, [GARCÍA, 2003].

4.2.2 Comparación entre el formato TIFF y el formato PNG

PNG es un formato bastante nuevo que permite compresión sin pérdidas pero, entre otras cosas soporta transparencias.

Tanto la imagen de la placa 173 en formato PNG como BMP tienen idénticos valores del Error Cuadrático Medio y la Relación Señal a Ruido Pico, ya que PNG es un formato de compresión sin pérdidas.

La longitud del archivo de la placa 137 en formato TIFF es de 901 Kbytes y en formato PNG es de 427 Kbytes, por lo tanto el Factor de compresión es igual a 2,11.

Luego, ya que la imagen de la placa 137 en formato PNG y BMP tienen los mismos valores de los criterios de fidelidad objetivos, con respecto a la imagen de referencia, y la imagen de la placa 137 en formato PNG es 2.11 veces más pequeña que en el formato BMP, es preferible transmitir la imagen en formato PNG.

4.2.3 Comparación entre el formato TIFF y el formato JPEG con calidad 100

El nivel de calidad del formato JPEG puede ser variado entre 0 y 100, donde 0 es el nivel de calidad mas bajo y 100 es el nivel de calidad mas alto y, de acuerdo con el nivel de calidad, aparecerán mas o menos distorsiones de forma y color visibles en las imágenes.

El tamaño de la imagen de la placa 137 en formato JPEG con calidad 100 es de 183 Kbytes., de esta manera es 4.29 veces mas pequeña que en el formato BMP y PNG.

Debido a que el tamaño del archivo JPEG con calidad 100 de la placa 137 es menor con respecto al formato BMP y PNG se prefiere transmitirlo, ya que el tiempo de transmisión es directamente proporcional al tamaño del archivo e inversamente proporcional a la velocidad y eficiencia del medio de transmisión.

4.3 COMPARACIONES DE JPEG EN CUANTO A NIVEL DE CALIDAD

El nivel de calidad de una imagen en formato JPEG se puede ajustar para lograr un equilibrio entre la calidad obtenida y el espacio en disco que se utilizará. Cuanto más se reduce el nivel de calidad, menor es el espacio en disco de la imagen resultante.

4.3.1 Comparación en el intervalo de nivel de calidad recomendada entre 65 y 100

En la figura 19 se muestra la comparación entre la calidad de la imagen de la placa 137 en formato JPEG y el tamaño del archivo. La calidad de la imagen JPEG varía entre 65 y 100, rango en el cual la calidad es recomendada ya que en las imágenes no se presentan distorsiones de forma y color visibles. Se puede observar en la figura 19 que entre más se reduce el nivel de calidad, menor es el espacio en disco.

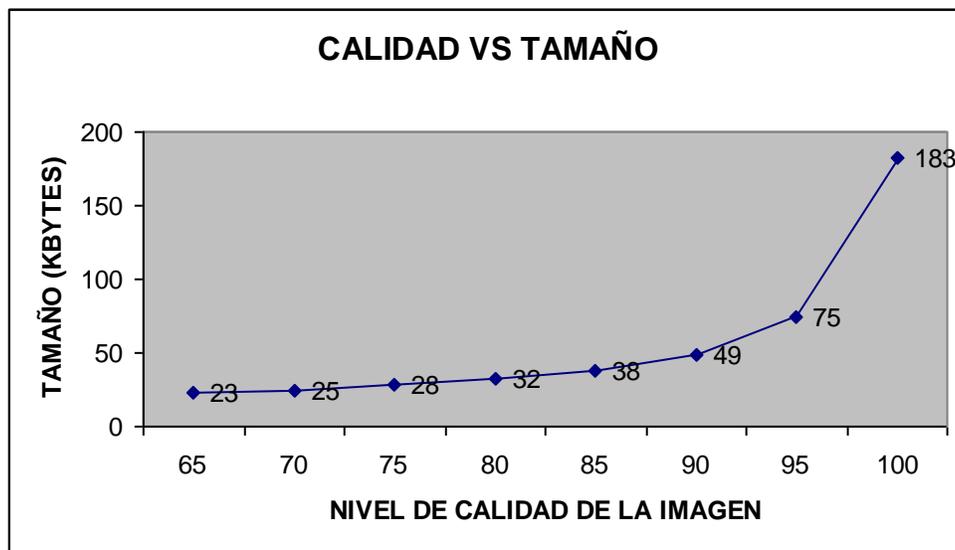


Figura 19. Comparación entre la calidad y el tamaño del archivo

Aunque las imágenes de la placa 137 en formato JPEG, con niveles de calidad entre 65 y 100, no muestran distorsiones visibles, los análisis de calidad objetivos muestran que las imágenes presentan variaciones en cuanto al Error Cuadrático Medio y la Relación Señal a Ruido, con respecto a la imagen de referencia en de la placa 137 en formato TIFF, como se aprecian en la figuras 20 y 21 respectivamente.

En la figura 20, cuanto mayor es el nivel de la calidad de la imagen de la placa 137 en formato JPEG, menor es el valor del Error Cuadrático Medio, con respecto a la imagen de referencia de la imagen de la placa 137 en formato TIFF.

La figura 21 indica que entre mayor sea el nivel de calidad de la imagen de la placa 137, en formato JPEG mayor es la Relación Señal a Ruido Pico, ya que el Error Cuadrático Medio es menor.

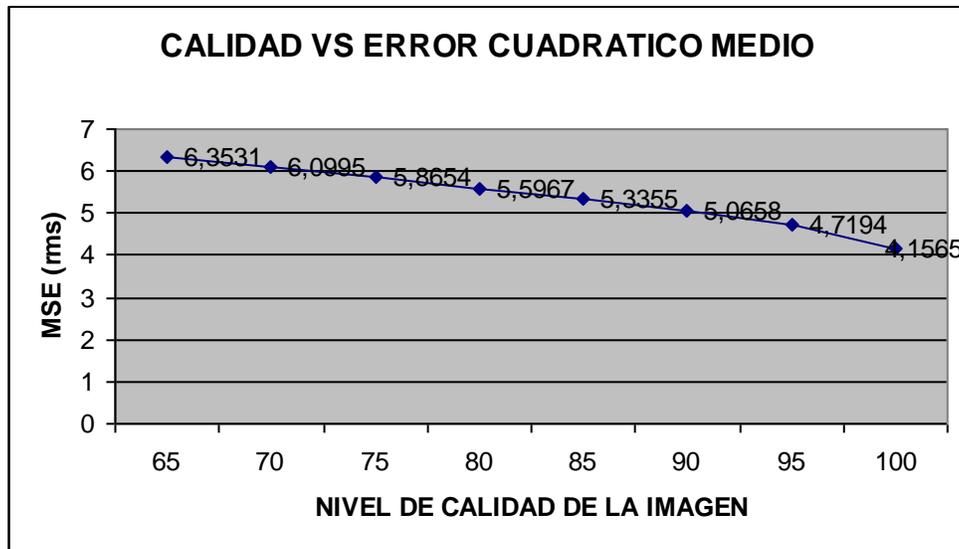


Figura 20. Comparación entre la calidad y el Error Cuadrático Medio

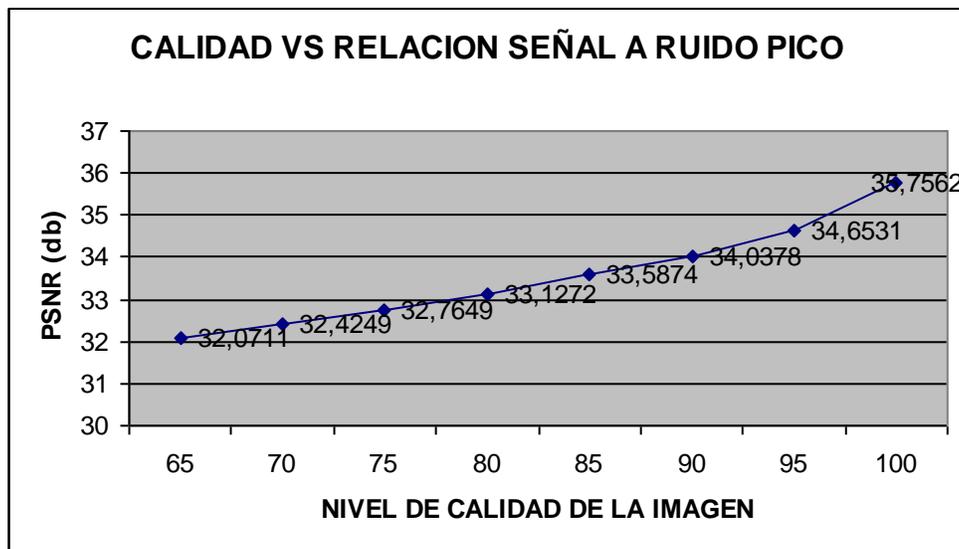


Figura 21. Comparación entre la calidad y la Relación Señal a Ruido Pico

4.3.2 Comparación en el intervalo de nivel de calidad de tamaño compacto entre 20 y 60

En la figura 22 se muestra la comparación entre la calidad de la imagen de la placa 137 en formato JPEG y el tamaño del archivo. La calidad de la imagen JPEG varía entre 20 y 60, rango en el cual las imágenes presentan un pixelado no muy notorio y el tamaño del archivo de las imágenes es compacto. Se puede observar nuevamente en la figura 22 que entre mayor sea el nivel de calidad de la imagen, mayor es el espacio en disco.

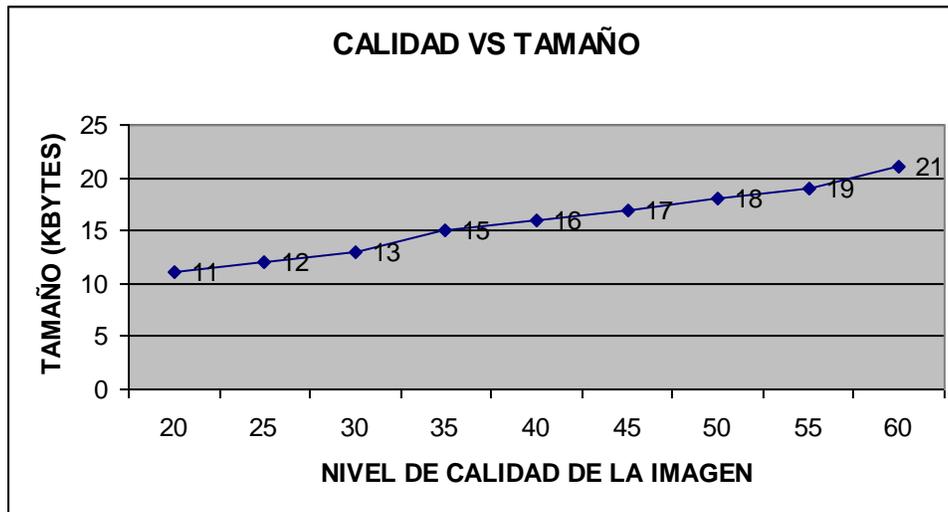


Figura 22. Comparación entre la calidad y el tamaño del archivo

Aunque las imágenes de la placa 137 en formato JPEG, con niveles de calidad entre 20 y 60, muestran un pixelado no muy notorio, los análisis de calidad objetivos muestran que las imágenes presentan un incremento en cuanto al Error Cuadrático Medio y por lo tanto una disminución de la Relación Señal a Ruido, con respecto a la imagen de referencia en formato TIFF, como se aprecia en la figuras 23 y 24 respectivamente.

Como se puede observar en la figura 23, a medida que disminuye el nivel de calidad de la imagen de la placa 137 en formato JPEG, mayor es el valor del Error Cuadrático Medio, con respecto a la imagen de referencia de la imagen de la placa 137 en formato TIFF.

Para efectos de criterios de evaluación subjetivos, el pixelado es más notorio entre la imagen de la placa 173 en formato JPEG con calidad 60 y la imagen de la placa 173 en formato JPEG con calidad 20.

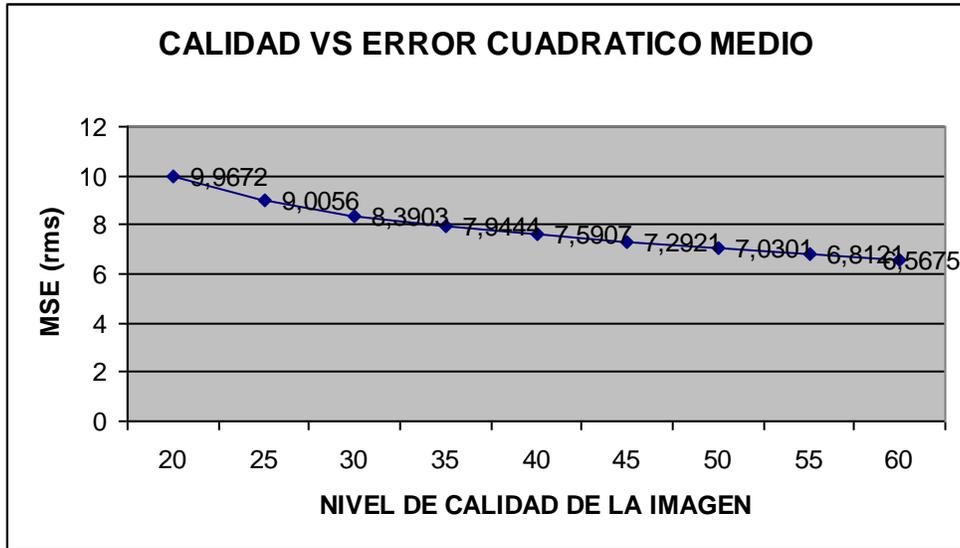


Figura 23. Comparación entre la calidad y el Error Cuadrático Medio

La figura 24 indica que entre mayor sea el nivel de calidad de la imagen de la placa 137 en formato JPEG, mayor es la Relación Señal a Ruido Pico, ya que el Error Cuadrático Medio es menor, a medida que aumenta el nivel de calidad de la imagen.

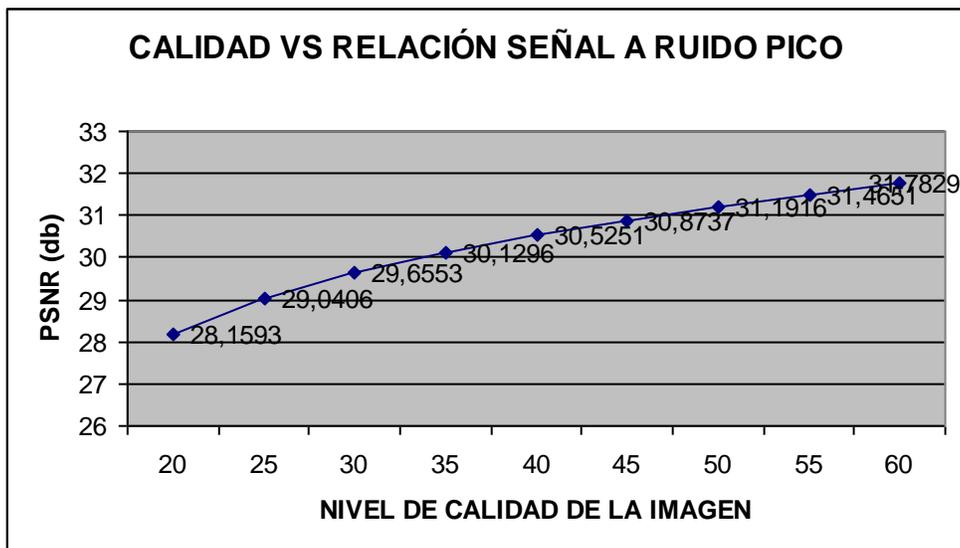


Figura 24. Comparación entre la calidad y la Relación Señal a Ruido Pico

4.3.3 Comparación en el intervalo de nivel de calidad de tamaño compacto entre 0 y 15

En la figura 25 se muestra la comparación entre la calidad de la imagen de la placa 137 en formato JPEG y el tamaño del archivo. La calidad de la imagen JPEG varía entre 0 y 15, rango en el cual las imágenes presentan distorsiones de forma y color visibles ya que el tamaño de las imágenes es demasiado compacto.

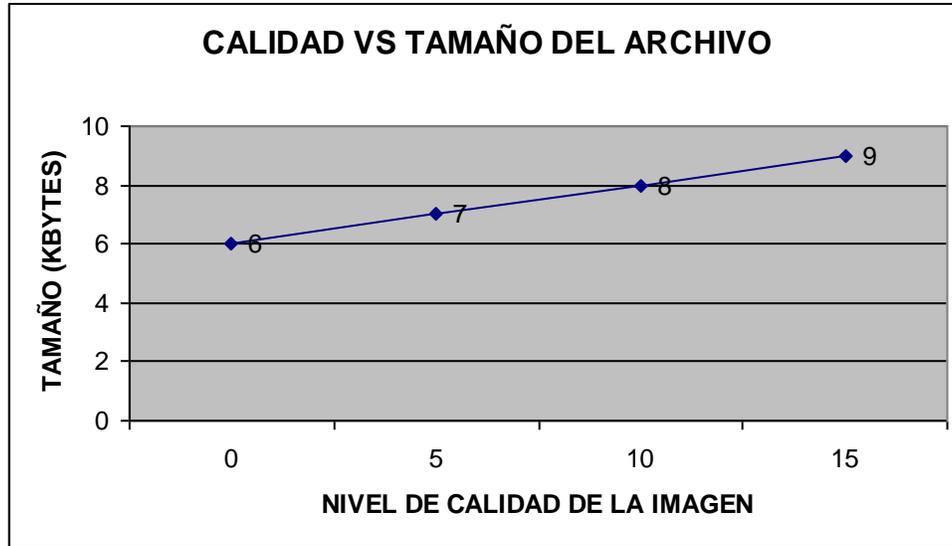


Figura 25. Comparación entre la calidad y el tamaño del archivo

Los valores del Error Cuadrático Medio y la Relación Señal a Ruido Pico de las imágenes de la placa 137 en formato JPEG, en el intervalo de 0 a 15 del nivel de calidad, varían considerablemente con respecto a los valores del intervalo de 65 a 100 del nivel de calidad, por lo cual se reducen los detalles de las imágenes. Las variaciones de dichos valores se pueden apreciar en las figuras 26 y 27.

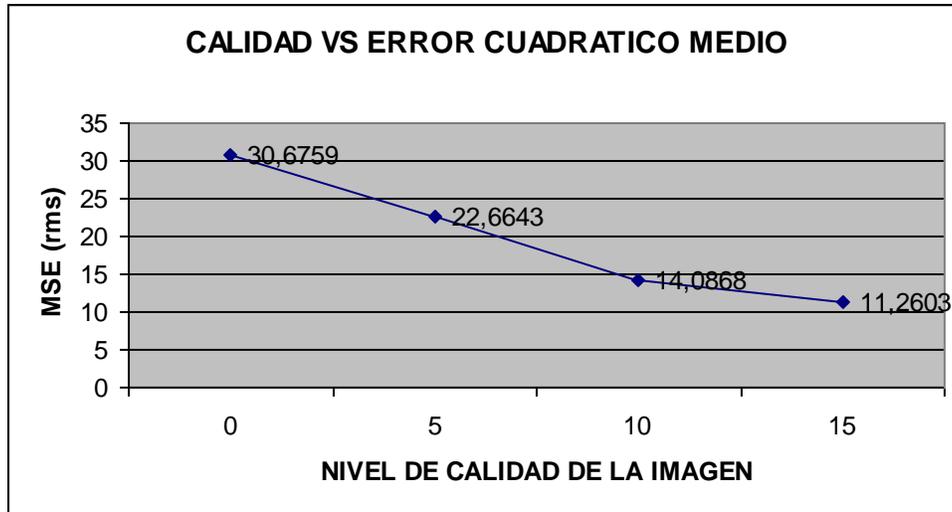


Figura 26. Comparación entre la calidad y el Error Cuadrático Medio

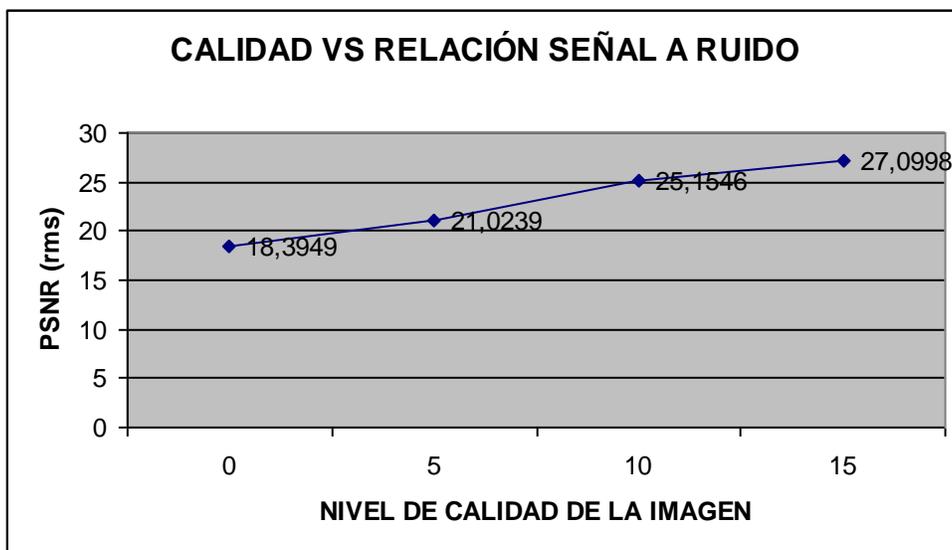


Figura 27. Comparación entre la calidad y la Relación Señal a Ruido Pico

4.4 FORMATO DE IMAGEN A TRANSMITIR

En el intervalo entre 65 y 100 del nivel de calidad de la imagen se logra un buen compromiso entre la calidad y el tamaño del archivo, ya que no se presentan distorsiones de color importantes. De esta manera se escoge el formato JPEG con calidad 90 como el formato para transmitir las imágenes de la tuberculosis, este formato es 8,71 veces más

pequeño con respecto al formato PNG y 18,38 veces más pequeño que el formato TIFF. La principal ventaja del formato JPEG con calidad 90 con respecto a sus niveles superiores, por ejemplo calidad 95 o 100, es que reduce considerablemente el tamaño del archivo y con respecto a sus niveles inferiores, por ejemplo calidad 65 o 80, es la calidad de la imagen obtenida ya que se presenta menor degradación debido a la compresión.

4.5 REFERENCIAS

[GARCÍA, 2003]

García Ramos Román. "Compresión de imágenes fijas en MATLAB a través de DCT y WAVELET". Tesis profesional del Departamento de Ingeniería Electrónica y Sistemas, Universidad de las Américas, Puebla. 2003. Consulta: Julio 2005. Accesible en:
http://www.udlap.mx/~tesis/meie/garcia_r_r/

[GONZÁLEZ, 1999]

González Fernando Martín. "Workstations, Redes, Telerradiología, PACS y algo más..."Primera Parte. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:
<http://www.diagnostico.com.ar/>

[LEICA, 2005]

Leica Q550 IW. Consulta: Diciembre de 2005. Accesible en:
http://www.leica-microsystems.com/Imaging_Systems

5 DISEÑO DEL PROTOTIPO DE APLICACION

La implementación de un prototipo que permita realizar una transferencia general de imágenes, teniendo en cuenta su captura, digitalización, compresión, envío, procesamiento y presentación, es un proceso que lleva al análisis de factores como las características del medio en el cual se va a utilizar, el lenguaje de programación, los formatos de las imágenes y los diferentes filtros que se aplicarán a las imágenes.

En este capítulo se describen los diferentes pasos que se tuvieron presentes en la realización del prototipo de aplicación que requiere el proyecto, considerando el proceso de desarrollo desde el diseño de la aplicación hasta su implementación y ejecución. Se definen las herramientas adecuadas para el desarrollo del prototipo, las bases para la elección de las tecnologías tanto hardware como software aplicadas en este proceso y finalmente se definen los aspectos técnicos que son necesarios para la correcta implementación del sistema desarrollado en nuestro medio.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema cuenta con los elementos tanto software como hardware necesarios para la captura, digitalización, compresión, transmisión, recepción, procesamiento y presentación de imágenes dentro de una red de telecomunicaciones, en este caso conformada por dos equipos con conexión a Internet, a través de la cual se realizará la transmisión de imágenes médicas.

El sistema consiste en dos aplicaciones: Cliente y Servidor. El servidor debe contar con una conexión permanente a Internet y con una dirección IP real, el cliente debe tener una conexión temporal a Internet. Esto permite que varios usuarios ubicados en sitios remotos, tengan la posibilidad de enviar imágenes asociadas a la tuberculosis hasta un servidor central en donde éstas serán almacenadas y podrán ser sometidas a un procesamiento para mejorar sus características, con estas imágenes, un médico especializado podrá hacer el diagnóstico de la enfermedad desde la instalación en donde

se encuentre ubicado el servidor, sin tener la necesidad de desplazarse hacia cada uno de los sitios remotos.

En la aplicación cliente se cuenta con herramientas que facilitan la captura y cambio de formato de la imagen, la herramienta permite hacer la captura de una imagen desde un dispositivo de video conectado al computador o seleccionar una imagen existente para su envío. Para el envío de las imágenes el cliente debe realizar la conexión con el servidor, para esto, debe realizar una conexión a Internet utilizando un MODEM, luego, ingresar la dirección IP del servidor y realizar la conexión con el servidor. Una vez establecida la conexión entre el cliente y el servidor, el cliente puede enviar archivos de imagen directamente al servidor o puede adjuntarlos en un formulario de reporte de enfermedad, en donde ingresa los datos relacionados al paciente, guardando estos datos en el sistema para su posterior envío. El servidor almacena los informes y archivos recibidos para su posterior visualización y diagnóstico. La aplicación ubicada en el equipo servidor, cuenta con herramientas de procesamiento de imágenes, con las cuales se pueden mejorar características de la imagen, eliminando el ruido o mejorando el brillo y el contraste de esta.

La selección de las imágenes a transmitir por el sistema puede hacerse directamente desde archivos guardados dentro del equipo en donde se encuentre en ejecución el software cliente, o mediante un dispositivo de captura de video conectado a este, caso en el cual, la aplicación cuenta con una interfaz especial que permitirá la captura de la imagen que en ese momento se encuentre en presentación.

En el caso de realizar tomas fotográficas a través de un microscopio óptico, será necesario realizar el correspondiente acoplamiento del lente del microscopio con la cámara fotográfica, una vez acoplados estos dos dispositivos, se procede a realizar la captura de la imagen.

El acceso limitado de los diferentes centros de salud de nuestra región a tecnologías de redes de alta velocidad, hace necesario la interconexión de estos centros a través del sistema telefónico, utilizando MODEM, lo cual hace necesaria la implementación de este prototipo de aplicación teniendo en cuenta las condiciones de baja velocidad de transferencia que se logran con la conexión por MODEM.

En cuanto al cliente, este cuenta con la posibilidad de capturar y cargar imágenes fijas para su envío individual o en grupo a través de formularios especiales de reporte de tuberculosis, las cuales, antes de ser enviadas, son comprimidas para satisfacer las necesidades de ancho de banda limitado.

En el servidor se maneja una base de datos en la cual se almacenan todos los reportes y las imágenes, además se tiene la posibilidad de realizar operaciones de procesamiento de imágenes, (suavizado, mejora de brillo, contraste, perfilado, etc.) para mejorar o resaltar rasgos en las imágenes que se encuentran en el servidor. Una vez se guarden las imágenes dentro del servidor, éstas podrán ser desplegadas en el equipo o ser vistas desde cualquier otro dispositivo que cuente con acceso al equipo.

El prototipo de software esta desarrollado para operar por sí solo, utilizando una conexión telefónica a Internet, en el caso en que se quiera integrar este servicio en la red RETAS, se realizaría el acceso a la base de datos SQL Server en la que se almacenan los usuarios registrados para así limitar el acceso al equipo servidor. Para la utilización de los programas se montaría un enlace en la página de RETAS en el que se permita descargar la aplicación de cliente y la aplicación de servidor se establecería como un servicio en el equipo perteneciente a RETAS.

5.2 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS

5.2.1 Lenguaje de diseño y modelado

En primer lugar, se tomó UML™ (*Unified Modeling Language* – Lenguaje Unificado de Modelado), un lenguaje de modelado de sistemas de software, como el lenguaje a utilizar en el diseño del sistema, el cual ayuda a tener un control sobre el proceso de desarrollo de aplicaciones desde su concepción, hasta su programación en el lenguaje especificado, ésta selección se hizo teniendo en cuenta las siguientes características de este lenguaje:

- Está basado en el paradigma orientado a objetos.
- Su notación gráfica es fácil de entender, comprendiendo un grupo de diagramas que permiten un modelado relativamente sencillo pero completo de la aplicación.

- Permite un mapeo a los lenguajes de programación más usados en el momento.
- Proporciona los elementos necesarios para una completa documentación del sistema.

5.2.2 Lenguaje de programación

Java™ es un lenguaje de programación que ofrece la ventaja de independencia de plataforma, permitiendo así la elaboración de sistemas sin mayores restricciones de presentación e implementación en diferentes sistemas operativos. Además, Java™ brinda la posibilidad de trabajar con una arquitectura de tipo MVC (*Model View Controller* - Modelo Vista Controlador), la cual ofrece la ventaja de tener elementos independientes y conservar la modularidad haciendo que un sistema sea fácilmente entendible y modificable, permitiendo hacer cambios únicamente donde es necesario, sin afectar las demás partes del sistema.

Java™ cuenta con API's (*Application Programming Interface* - Interfaz de Programación de Aplicaciones), que hacen que las funcionalidades del lenguaje sean extensibles con la instalación de módulos de programación especializados. Para el caso particular del trabajo con imágenes, se cuenta con JAI (*Java™ Advanced Imaging* - Procesamiento de Imágenes Avanzado de Java), un API que permite incorporar procesamiento de imágenes sofisticado y de alto rendimiento dentro de las aplicaciones desarrolladas en el lenguaje Java. Otra API es Java™ Image I/O, el cual nos proporciona una extensión para las operaciones de lectura y escritura de imágenes para la plataforma Java™.

La intención de JAI es apoyar el procesamiento de imágenes usando el lenguaje de programación Java™ de manera tan general como sea posible, así que pocas o ninguna aplicación de procesamiento de imágenes están fuera de su alcance. Al mismo tiempo, JAI presenta un modelo simple de programación que puede ser fácilmente usado en aplicaciones sin programación de alto nivel o el requerimiento de que el programador sea experto en todas las fases del diseño del API

Resumiendo, los motivos que llevan a seleccionar Java™ como principal lenguaje de programación son los siguientes:

- Ofrece una independencia de plataforma al sistema desarrollado, lo que conlleva a mayor flexibilidad en el ambiente de implementación.

- Cuenta con que hacen extensible la capacidad de programación del lenguaje.
- Provee una manera natural de implementar un sistema con arquitectura MVC.
- Cuenta con capacidad de programación de aplicaciones tipo Cliente – Servidor con diferentes métodos de interconexión.

5.2.3 Método de conexión y transferencia

Para la interconexión de los equipos clientes con el servidor, se utilizará la técnica de “Sockets”, con la cual se designa un camino entre el cliente y el servidor para el intercambio de datos y de mensajes de control, al definir un protocolo de conexión y un puerto de trabajo entre las dos máquinas. Para la aplicación se define el protocolo TCP/IP como la mejor solución debido a que se necesita que absolutamente todos los paquetes enviados sean recibidos sin perder información, este protocolo presenta esta característica al reenviar los paquetes perdidos, evitando así que se pierda algún dato.

Una vez establecida la conexión entre cliente y servidor, se establecen dos canales, uno para el intercambio de mensajes de control y otro canal para la transferencia de los datos correspondientes a las imágenes, para así tener mayor control sobre la transferencia de archivos.

5.3 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

A continuación se presentan los requisitos necesarios para la implementación del sistema en equipos reales en nuestro medio.

5.3.1 Requerimientos hardware

El equipo necesario para la toma de fotografías digitales de la baciloscopia de la tuberculosis, son: un microscopio trinocular, una cámara fotográfica que soporte el acoplamiento y un adaptador para interconectarlos, ver capítulo 3. En el desarrollo del proyecto fueron utilizados los siguientes elementos:

- Microscopio Nikon Microphot con adaptador de cámara digital.
- Cámara JVC TK-C1380.
- Estación Leica Q550 IW para la visualización de las imágenes.

El equipo que funcionará como servidor, necesita tener unas características especiales, para el óptimo funcionamiento del sistema, a continuación se presenta una sugerencia de las características mínimas del equipo servidor:

- Procesador con velocidad 1.5GHz.
- Memoria RAM 512 MB.
- Disco duro 60 GB.
- Tarjeta de red o MODEM para conexión a Internet.
- Acceso permanente a Internet con dirección IP real.

Para el equipo del cliente, el cual supondrá un menor desempeño, tenemos las siguientes características mínimas:

- Procesador con velocidad 1GHz.
- Memoria RAM 256 MB.
- Disco duro 20 GB.
- MODEM para conexiones temporales a Internet.
- IP real durante la conexión a Internet.

5.3.2 Requerimientos funcionales

Para poder realizar el correcto procesamiento y transferencia de la imagen, tanto de la baciloscopia como de la radiografía, la imagen resultante de la captura debe ser de cualquiera de los siguientes formatos: TIFF, BMP, JPEG, JPEG2000, PNG.

Los equipos del cliente y el servidor deben contar, en el momento de la transferencia con una conexión a Internet o una conexión de red que permita la comunicación directa entre los dos equipos. Si la conexión se realiza a través de Internet, es necesario que ambos equipos cuenten con direcciones IP reales, debido a que si uno de los dos equipos se encuentra con conexión a través de un servidor proxy⁹, no se podrá realizar la conexión.

Los equipos deben tener una versión del JRE¹⁰ (*Java Runtime Environment* - Entorno de ejecución de JavaTM), necesario para ejecutar las aplicaciones desarrolladas en el lenguaje Java.

⁹ Utilizado para permitir el acceso a Internet a todos los equipos de una organización cuando sólo se puede disponer de un único equipo conectado, esto es, una única dirección IP.

¹⁰ Disponible para descarga en la dirección: <http://www.java.com/es/download/>

5.4 DISEÑO DEL SISTEMA

A continuación se presentan las diferentes arquitecturas del sistema, vistas de manera general y basadas en el funcionamiento del sistema, mostrando la arquitectura final de la aplicación.

5.4.1 Consideraciones

Cualquier proyecto, sin importar el área a la que este pertenezca, requiere siempre del cumplimiento de una serie de pasos que proporcionen la confianza de poder llegar al resultado esperado. El desarrollo de un sistema en el campo computacional no es la excepción a la regla, y llevar a cabo el proceso de manera sistemática es tan importante que existe incluso un área especializada en el estudio, creación y aplicación de modelos, técnicas, métodos y diversas herramientas para la planeación, diseño, desarrollo, evaluación y optimización de los procesos y sistemas en general, es decir, la ingeniería del software.

Tomando en cuenta lo anteriormente mencionado, los principales puntos considerados en el diseño de este trabajo fueron:

- Independencia respecto a la arquitectura y plataforma de cada máquina.
Para tener estas características se selecciona Java™, un lenguaje de programación multiplataforma.
- Sistema de interconexión vía remota entre Cliente y Servidor.
Este sistema de interacción es proporcionado por Java™.
- Formatos de compresión de Imágenes conocidos.
Los formatos que se pueden utilizar son los proporcionados por el API de lectura y escritura de imágenes Java™ Image I/O, estos son: TIFF, BMP, GIF, JPEG, JPEG2000, PNG.
- Limitación en el ancho de banda de interconexión entre las aplicaciones de Cliente y Servidor.
Estas limitaciones son tenidas en cuenta para el diseño de la aplicación en cuanto a detección de fallas de transmisión y retransmisión de imágenes en varios intentos de conexión.

Además de las consideraciones en cuanto al proceso de programación, también existen consideraciones en cuanto al hardware de captura y digitalización de la imagen, para lo cual se utilizan dos tipos de dispositivos, una cámara fotográfica digital y un escáner, que deben contar con una calidad aceptable en la digitalización de la imagen.

La cámara fotográfica digital será utilizada para realizar la captura de la imagen correspondiente a la baciloscopia, esta será tomada al integrar la cámara con el microscopio mediante un acoplador, y el escáner será utilizado para hacer una copia digital de las zonas de interés de las radiografías correspondientes al examen realizado para la detección de la tuberculosis.

Basados en las comparaciones realizadas, y teniendo en cuenta que el sistema visual humano puede tolerar una cierta pérdida de información sin modificar su percepción de la escena que esta apreciando, y las ventajas en cuanto a tamaño de la imagen, tasa de compresión, portabilidad de formato entre dispositivos, se ha elegido a la compresión JPEG con pérdida y una calidad 90 como el formato para trabajar la transmisión de las imágenes entre los diferentes clientes y el servidor.

5.4.2 Arquitectura MVC (Modelo Vista Controlador)

La selección de una arquitectura del tipo MVC se hizo tomando en cuenta las principales ventajas ofrecidas por ésta: separación de los datos y las vistas, eficiencia en el manejo de datos distribuidos y en el desempeño para sistemas interactivos.

La arquitectura de un sistema comprende la organización en componentes, elaboración de una estructura de control global y definición de protocolos de comunicación, sincronización y acceso a datos. Un tipo de arquitectura especifica la estructura y topología del sistema, así como el control de flujo y sincronización.

Una arquitectura de tipo MVC divide los componentes en tres tipos:

- **Componentes de modelo.**

Implementan la estructura de datos de un sistema, así como los métodos y algoritmos encargados de ejecutar las funciones principales. Son totalmente independientes de la vista.

- **Componentes de vista.**

Están encargados de interactuar directamente con el usuario final, representando la parte que “da la cara” solicitando los datos necesarios para el funcionamiento del sistema y presentando los resultados obtenidos.

- **Componentes de control.**

Encargados de controlar el intercambio y flujo de datos entre los componentes del modelo y los componentes de la vista.

5.4.3 Arquitectura general del sistema

Teniendo en cuenta la arquitectura anteriormente mencionada y los requerimientos técnicos analizados, se tiene la arquitectura general de la aplicación mostrada en la figura 28:

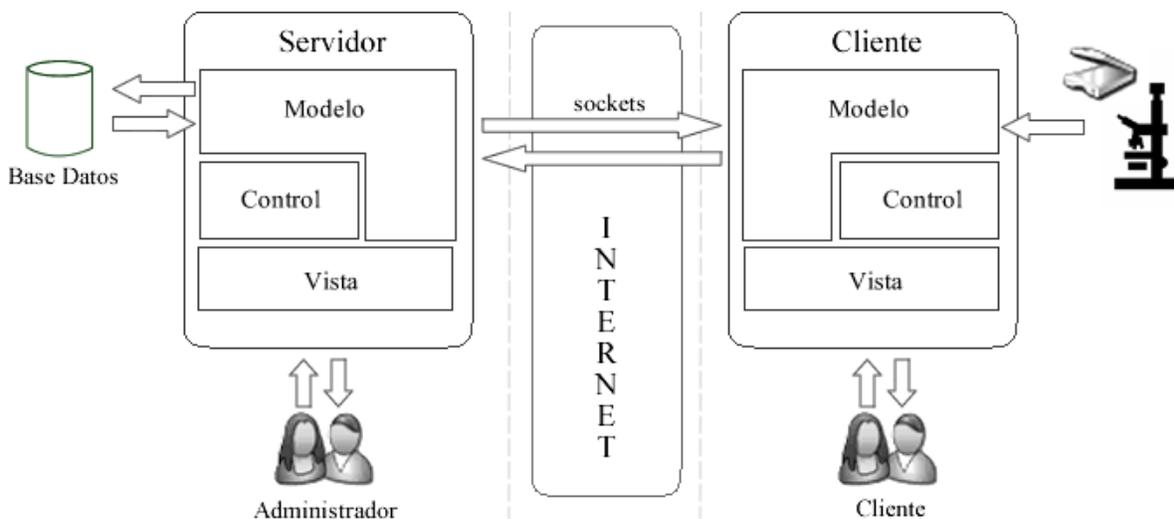


Figura 28. Arquitectura general del sistema

Se tienen dos tipos de usuarios del sistema, un Administrador, que estará encargado de la parte del servidor, y un Cliente que operará el sistema encargado de la captura y el envío de las imágenes hacia el centro en donde se encuentra el servidor.

5.5 REFERENCIAS

[JAI 1.0.1]

Programming in Java Advanced Imaging, Versión 1.0.1, Noviembre 1999, Sun Microsystems.

[MELVA, 2003]

Melva Ramos Rivas. "Sistema de pre-procesamiento de imágenes en telemedicina". Tesis de Licenciatura del Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Universidad de las Américas, Puebla. 2003.

6 DISEÑO DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN

En este capítulo se presenta el proceso de desarrollo de la aplicación teniendo en cuenta un proceso de desarrollo integral, basado en las herramientas con las que cuenta el lenguaje de modelado UML™, mostrando diferentes diagramas de representación de las fases de desarrollo, lo cual permite una visión organizada del proceso de desarrollo.

6.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO SOFTWARE DE APLICACIÓN

El proceso de diseño de una aplicación, aplicando el lenguaje UML™, consta de varios pasos, en los que se utilizan una serie de diagramas que definirán la forma y la funcionalidad de la aplicación.

6.1.1 Diagrama de casos de uso

Los diagramas de casos de uso son utilizados para representar la funcionalidad del sistema, enfocándose en el comportamiento del sistema desde un punto de vista externo a éste. Los componentes principales en este diagrama son los actores y los casos de uso, que interactúan mediante relaciones de inclusión y extensión. La identificación de los actores y los diversos casos de uso lleva a la definición de los límites del sistema, es decir, a diferenciar las tareas realizadas por el sistema y las tareas realizadas por su medio ambiente.

- **Actores:** Entidades que interactúan con el sistema representando diversos roles. Son externos al sistema.
- **Casos de Uso:** definen el flujo de interacciones entre eventos a través del sistema, especificando todos los posibles escenarios para una actividad. Están dentro de los límites del sistema.

A continuación se presentan los diagramas de casos de uso en los cuales se identifican tres actores, el Usuario en el Servidor, el Cliente, que es el Usuario final de la aplicación

en el lado del cliente, y el Sistema que realiza acciones automáticamente condicionadas a previos requisitos, ver figuras 29, 30 y 31 respectivamente:

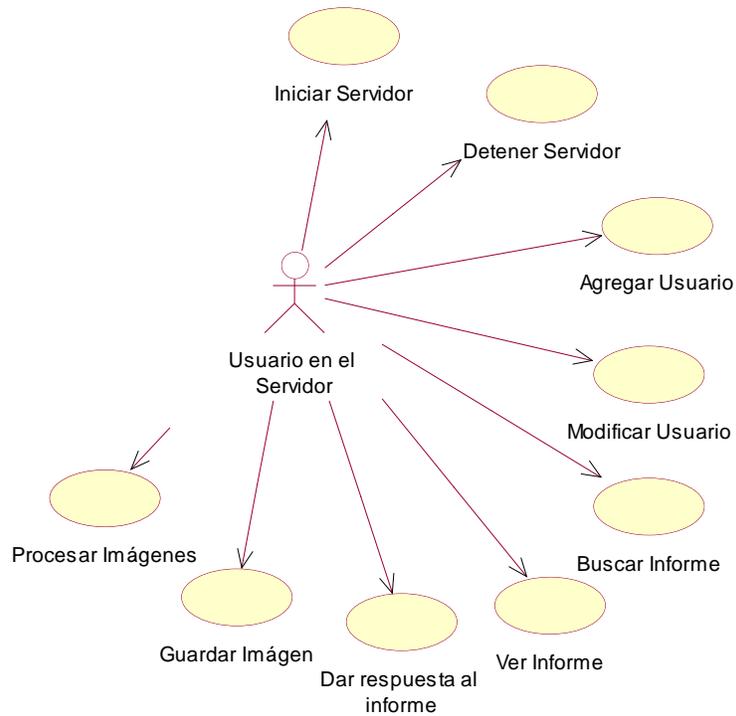


Figura 29. Diagrama general de casos de uso del Usuario en el Servidor.

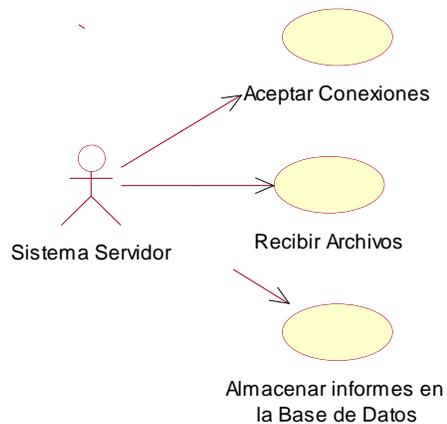


Figura 30. Diagrama general de casos de uso del Sistema

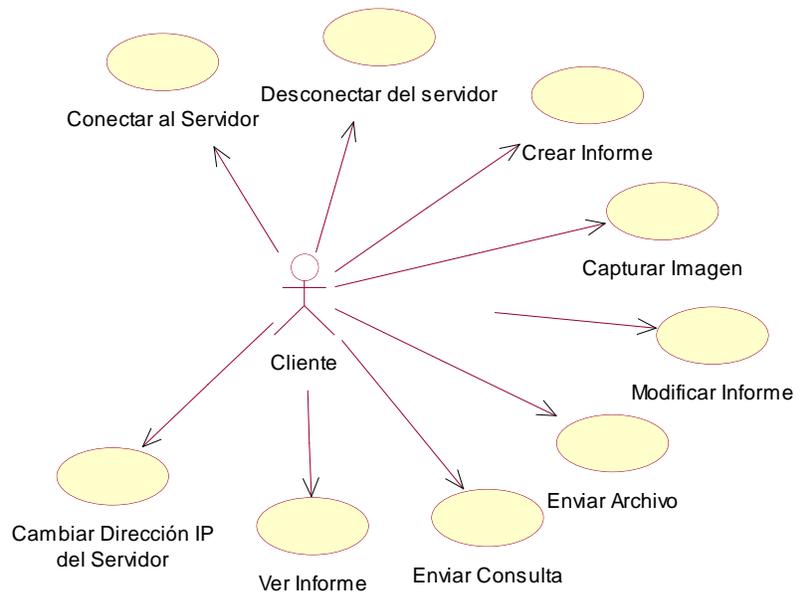


Figura 31. Diagrama general de casos de uso del Cliente

6.1.2 Descripción de casos de uso

Casos de Uso del Administrador (Ver figura 29).

Iniciar Servidor: Da la orden al servidor de aceptar conexiones remotas, estableciendo un canal de transmisión de datos con cada uno de los clientes conectados al servidor.

Detener Servidor: Detiene la recepción de conexiones por parte de los clientes remotos. A partir de ese instante, es imposible para un cliente realizar la conexión con el servidor.

Agregar usuario: Ingresa al sistema los datos de un nuevo usuario, creando una nueva cuenta con un nombre de usuario y una contraseña para validar el ingreso al sistema del Servidor.

Modificar usuario: Modifica la información de los usuarios del servidor que cuentan con acceso al sistema, ya sea modificando sus datos o eliminándolos del sistema.

Ver Informe: Se visualizan todos los datos correspondientes al informe seleccionado, incluyendo las imágenes adjuntas que este tenga.

Buscar Informe: Realiza la búsqueda de un informe con un criterio de búsqueda específico, puede realizarse una búsqueda por nombre, fecha o cédula.

Dar respuesta al Informe: Adjunta comentarios a un informe recibido.

Procesar Imágenes: Realiza la modificación de una imagen por medio de la aplicación de operaciones de procesamiento definidas en el sistema (brillo, contraste, histograma, suavizado, perfilado, escala de grises, rotación).

Guardar Imagen: Guarda una imagen determinada, procesada o no, con un formato JPEG calidad 90 en cualquier lugar del equipo en donde se encuentra el servidor.

Casos de Uso del Cliente (Ver figura 30).

Conectar al Servidor: Realiza una conexión remota de la máquina del cliente con el servidor. Para esto, debe estar previamente conectado a Internet.

Desconectar del Servidor: Realiza la desconexión del cliente con el servidor de una manera premeditada.

Crear Informe: Por medio del ingreso de datos en un formulario especial, se crea un informe relacionado con la tuberculosis, con la posibilidad de adjuntar imágenes al informe. El informe será almacenado en un archivo dentro de la carpeta de la aplicación.

Modificar Informe: Modifica la información consignada en un informe específico.

Capturar Imagen: Realiza la captura de la imagen desde un dispositivo de video conectado en el cliente. La imagen obtenida será guardada dentro de la carpeta de la aplicación con formato JPEG con calidad de 90;

Enviar Archivo: Se realiza el envío un archivo de cualquier tipo hacia el servidor, el cliente debe realizar previamente la conexión con el servidor.

Enviar consulta: Se realiza el envío de un informe hacia el servidor, junto con las imágenes adjuntas que este contenga. El cliente debe realizar previamente la conexión con el servidor.

Ver Informe: Permite visualizar los datos de un informe específico, mostrando toda su información y los archivos adjuntos que contenga en ese momento.

Cambiar Dirección IP del Servidor: Modifica la dirección IP donde se encuentra el servidor. Esta dirección será utilizada en el momento de intentar realizar la conexión.

Casos de Uso del Sistema Servidor.

Aceptar Conexiones: La conexión con el cliente se realiza automáticamente en cuanto el servidor reciba una petición de conexión por parte de algún cliente. El servidor debe encontrarse iniciado.

Recibir Archivos: Una vez establecida la conexión, el cliente puede enviar archivos hacia el servidor, este los almacena automáticamente una vez es recibida la totalidad del archivo.

Almacenar Informes en la base de datos: Cuando un archivo de informe es recibido, automáticamente su información es procesada y todos los datos correspondientes al informe son almacenados en la base de datos.

6.1.3 Diagrama de paquetes

6.1.3.1 Diagrama de paquetes en el Servidor.

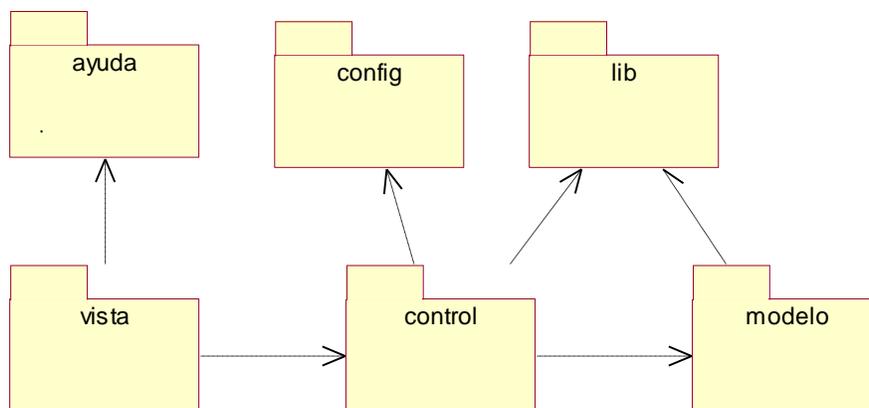


Figura 32. Diagrama de paquetes del Servidor

Paquete Ayuda. Contiene las clases que manejan las ayudas que presenta el entorno de desarrollo, hace uso del paquete javax.help que usa archivos xml y html para la configuración y el despliegue respectivamente de las ayudas.

Paquete Vista. Posee todas las interfaces gráficas de la aplicación. También están contenidas las imágenes y los iconos que componen la interfaz.

Paquete Control. En el se encuentran todas las clases que realizan operaciones dentro del sistema, incluyendo aquellas que permiten el procesamiento de las imágenes, el control de las conexiones y las transferencias de archivos e informes.

Paquete Config. Contiene el archivo de configuración de la base de datos del sistema. Esta configuración puede ser modificada desde la aplicación.

Paquete Lib. En este paquete se encuentran todas las librerías necesarias para el funcionamiento del sistema. En el caso del servidor, son las librerías correspondientes a JAI(Java Advanced Imaging), MySql, JavaHelp y Java Image I/O.

Paquete Modelo. Comprende las clases que permiten la conexión con la base de datos y se encargan de todas las operaciones de almacenamiento y retribución de información desde esta.

6.1.3.2 Diagrama de paquetes en el Cliente.

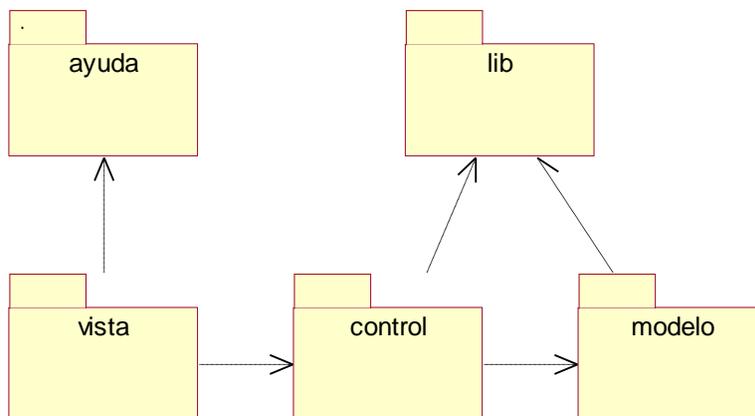


Figura 33. Diagrama de paquetes del Cliente

Paquete Ayuda. En el se encuentran las clases que manejan las ayudas que presenta el entorno de desarrollo, hace uso del paquete javax.help que usa archivos xml y html para la configuración y el despliegue respectivamente de las ayudas.

Paquete Vista. Contiene todas las interfaces gráficas de la aplicación. También están contenidas las imágenes y los iconos que componen la interfaz.

Paquete Control. Este paquete posee todas las clases que realizan operaciones dentro del sistema, incluyendo aquellas que permiten el procesamiento de las imágenes, el control de las conexiones y las transferencias de archivos e informes.

Paquete Lib. Se encuentran todas las librerías necesarias para el funcionamiento del sistema. En el caso del cliente, son las librerías correspondientes a JAI(*Java Advanced Imaging*), JMF (*Java Media Framework*), JavaHelp y Java Image I/O.

Paquete Modelo. Comprende las clases que permiten el almacenamiento y retribución de información en los archivos que componen los informes.

6.2 INTERFACES DE LA APLICACIÓN

A continuación se presentan las interfaces tanto de cliente como del servidor de la aplicación para la transferencia de imágenes que se desarrollo de acuerdo a los estudios previos (Ver figura 34 y 35). Para más información acerca del funcionamiento y el manejo de la aplicación consultar el Anexo C.



Figura 34. Interfaz del Servidor

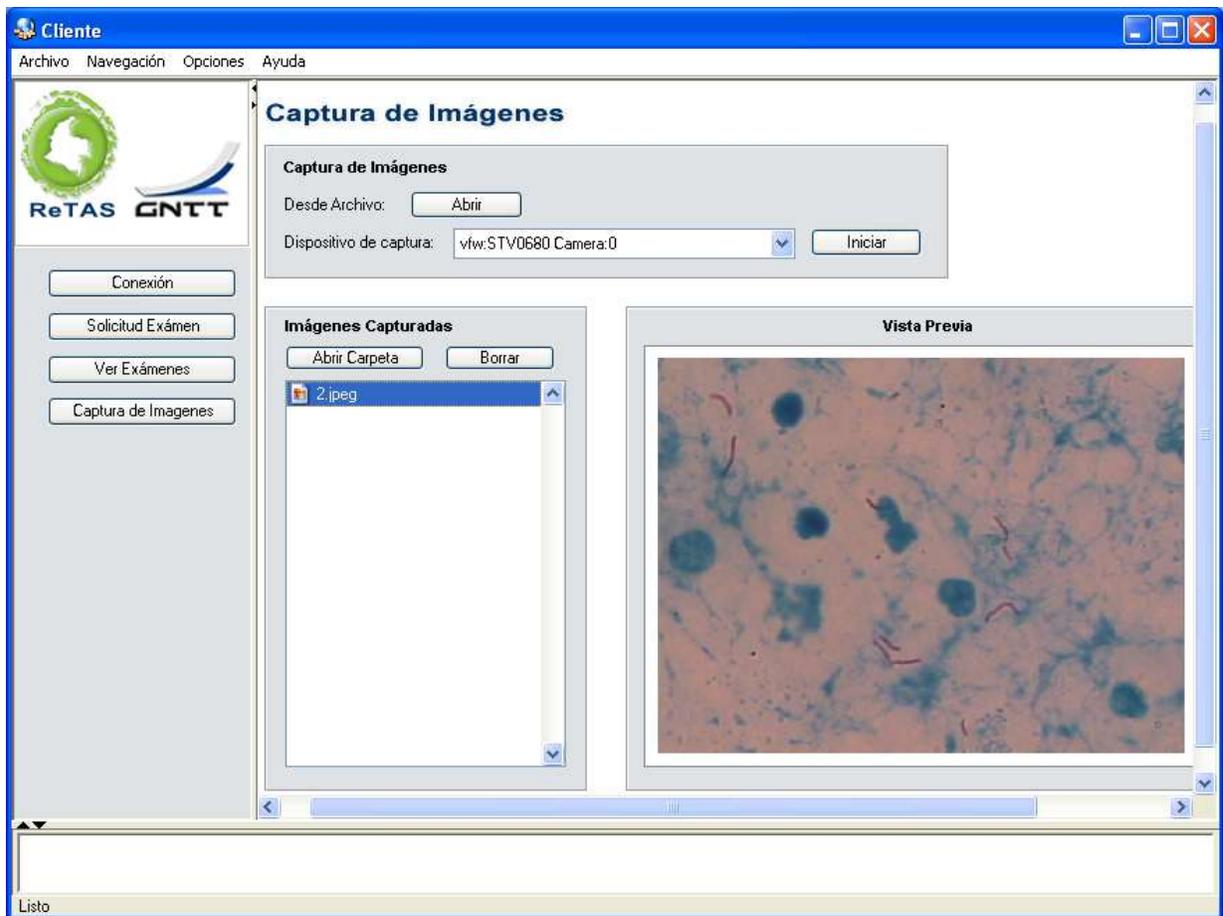


Figura 35. Interfaz del Cliente

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La fotografía digital presenta la posibilidad de simplificar, abaratar y mejorar las tareas que se realizan en Anatomía Patológica, con respecto a la fotografía tradicional, que al poder prescindir del proceso de revelado de la película y observar la imagen que se ha capturado de forma inmediata proporciona un avance significativo ya que se pueden seleccionar, comparar y componer imágenes de forma sencilla.
- Los formatos TIFF, BMP, JPEG y PNG son opciones válidas en la transmisión de imágenes de telepatología, utilizando líneas telefónicas convencionales, teniendo en cuenta que las imágenes médicas en formato DICOM ® con certificación del Colegio Radiológico Americano tienen un tamaño de aproximadamente 8 MegaBytes, lo cual tomaría, suponiendo una velocidad de transferencia de 5 KiloBytes por segundo (velocidad promedio máxima aproximada de transmisión de un MODEM calculada en pruebas de campo), 26.7 minutos de transmisión por cada imagen, lo cual indica que para la transmisión de varios exámenes tomaría horas ya que el tiempo de transmisión de una imagen es directamente proporcional al tamaño del archivo e inversamente proporcional a la velocidad y eficiencia del medio de transmisión.
- Los criterios de fidelidad objetivos como el Error cuadrático Medio (MSE) y La Relación Señal a Ruido Pico ($PSNR$) ofrecen mecanismos sencillos y convenientes para la evaluación de la pérdida de información de las imágenes, ya que por medio de ellos se logra hacer comparaciones píxel a píxel entre la imagen original y la imagen aproximada con la cual se obtienen medidas que permiten determinar que tanto difieren las imágenes, ya que algunas veces las diferencias no son visibles.
- El formato JPEG presenta mejores valores del Error Cuadrático Medio (MSE) y la Relación Señal a Ruido Pico ($PSNR$) que los entregados por los formatos BMP y PNG, (ver Anexo B) por esta razón las imágenes en formato JPEG con calidad 90 son la mejor opción para transmitir las imágenes a través de uno o varios clientes al servidor, utilizando la línea telefónica como medio de transmisión, por lo cual este tipo de imágenes es utilizada en el prototipo de software desarrollado.

- A pesar que el formato escogido (JPEG con calidad 90) presenta pérdidas de datos con respecto a un formato sin perdidas como lo es TIFF, el sistema visual humano puede tolerar cierta pérdida de información sin que se modifique la percepción de la escena, así que estas perdidas no son visualmente relevantes y el tamaño del archivo de la imagen, utilizando este formato, se reduce considerablemente disminuyendo así el tiempo de transmisión.
- En la práctica la decisión de la cámara a adquirir se debe basar no solo en los parámetros que presenten las hojas de especificaciones, sino fundamentalmente en probar y comparar las cámaras en el contexto en el que se vaya a trabajar.
- El prototipo de software permite la transferencia de imágenes médicas desde varios sitios remotos hasta un servidor central, sin embargo el análisis de estas imágenes para su diagnóstico clínico debe ser realizado por un medico especializado.
- El prototipo de software desarrollado utiliza el protocolo TCP/IP debido a las ventajas que presenta en cuanto a pérdida de datos ya que realiza retransmisión de paquetes si alguno de ellos se pierde en el camino. Para el procesamiento de imágenes en el prototipo se definieron filtros de suavizado y perfilado que son comúnmente utilizados para este fin, además de diferentes herramientas para realzar el brillo y el contraste de las imágenes y una herramienta para ecualizar el espectro de la imagen mediante el histograma. Si bien el prototipo de software permite la transmisión de cualquier tipo de imagen, los formularios utilizados para el envío de información en el cliente, están estrictamente ligados a la tuberculosis, lo cual implica que si se quiere aplicar este prototipo a cualquier otro escenario requerirá programación adicional.
- Para futuros trabajos bajo la misma línea de investigación se recomienda, aparte del procesamiento de las imágenes, desarrollar una aplicación que permita la automatización del análisis, mediante la detección por software de características en la imagen relacionadas con la enfermedad.
- Si en el medio en el cual se va implementar el prototipo de software cuenta con un ancho de banda suficiente para la transmisión de grandes volúmenes de información, no

sería necesario la compresión de las imágenes evitando así las pérdidas causadas por la compresión de la información, esto llevaría a realizar un nuevo estudio acerca del mejor formato para transmitir las imágenes.