

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Implementación de un PACS didáctico usando código abierto para el Laboratorio de Electrónica Médica, integrado a un dispositivo portable de adquisición de imágenes de Ultrasonido para aplicaciones de Teleradiología.”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

Presentado por:

Gonzalo Guillermo Cañarte Zurita
Jorge Patricio Salazar Aguirre

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2021

DEDICATORIA

La dedicatoria va sin tabulación a la derecha y no deben pasar de una carilla. En esta página se menciona a las personas o instituciones a las que se desea dedicar el producto final del trabajo. Puede empezar de la siguiente manera:
El presente proyecto lo dedico a...

Gonzalo Cañarte Zurita

DEDICATORIA

Jorge Salazar Aguirre

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos van sin tabulación a la derecha y no deben pasar de una carilla.

Serán realizados a individuos o instituciones que no se mencionan en el documento y quienes han realizado importantes contribuciones para la consecución del trabajo.

Puede empezar de la siguiente manera:

Mi más sincero agradecimiento a...

Esta parte es opcional.

Gonzalo Cañarte Zurita

AGRADECIMIENTOS

Jorge Salazar Aguirre

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me(nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; (*nombre de los participantes*) y doy(damos) mi(nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Gonzalo Cañarte

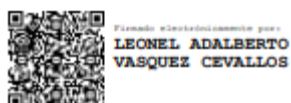
Jorge Salazar

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Ph. D. María Álvarez
SUBDECANO DE LA FIEC



Msig. Lenin Freire
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Ph. D. Leonel Vásquez
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

RESUMEN

En el primer capítulo, se propone diseñar e implementar un sistema didáctico de almacenamiento y distribución de imágenes médicas PACS, que formará parte del laboratorio de electrónica médica de la ESPOL para que los estudiantes de ingeniería biomédica y carreras afines, adquirieran un nivel de práctica y entendimiento básico sobre estos sistemas PACS. Adicionalmente, con fines demostrativos se integra un dispositivo portable de ultrasonido al sistema, el mismo que fue prestada a la empresa privada. En este capítulo se plantean los objetivos generales, específicos y la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto.

En el segundo capítulo se revisaron los conceptos técnicos más relevantes de los sistemas PACS y las herramientas de software de código abierto de mayor referencia, disponibles para el desarrollo e implementación.

En el tercer capítulo, se identificaron los principales componentes y sistemas integradores para el desarrollo del presente proyecto. Se diseñó una estructura de hardware y una secuencia de instalación de software de código abierto, para la implementación, se utilizó un servidor de torre con un arreglo de discos en modo espejo. Se instaló sistema operativo Centos 7 y base de datos MySQL y para los servicios DICOM y motor de integración del PACS se utilizó las librerías jboss-4.2.3.GA y Dcm4chee-2.18.3-mysql. Adicionalmente, se utilizó la programación Java, Apache y lenguaje de programación PHP, para implementar la herramienta de visualización web.

En el cuarto capítulo se realizaron las pruebas comprobando el funcionamiento, integración, consulta y visualización de las imágenes médicas de ultrasonido en formato DICOM, logrando los objetivos esperados.

Palabras Claves: PACS, DICOM, telemedicina, ultrasonido.

ABSTRACT

In the first chapter, it is proposed to design and implement a PACS medical imaging and storage teaching system, which will be part of ESPOL's medical electronics laboratory for biomedical engineering and related career students to acquire a basic level of practice and understanding about these PACS systems. In addition, for demonstration purposes a portable ultrasound device is integrated into the system, which was loaned to the private company. This chapter sets out the general, specific objectives and methodology used for project development.

The second chapter reviewed the most relevant technical concepts of PACS systems and the most referenced open source software tools available for development and implementation.

In the third chapter, the main components and integrative systems for the development of this project were identified. A hardware structure and an open source software installation sequence were designed for deployment, a tower server with a mirror-mode array was used. Centos 7 operating system and MySQL database were installed and for DICOM services and PACS integration engine the jboss-4.2.3.GA and Dcm4chee-2.18.3-mysql libraries were used. Additionally, Java, Apache and PHP programming language were used to implement the web visualization tool.

In the fourth chapter the tests were carried out checking the operation, integration, consultation and visualization of medical ultrasound images in DICOM format, achieving the expected objectives.

Keywords: PACS, DICOM, telemedicine, ultrasound.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	VII
RESUMEN.....	VIII
<i>ABSTRACT</i>	IX
ABREVIATURAS	XIV
SIMBOLOGÍA	XV
CAPÍTULO 1.....	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Solución propuesta.	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
1.5 Metodología	6
1.6 Stakeholders del proyecto.....	7
1.6.1 Stakeholders Internos.	7
1.6.2 Stakeholders Externos.....	8

1.7 Metodología.....	8
1.8 Resultados esperados.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2. ESTADO DEL ARTE.....	10
2.1 Fundamentos de un sistema PACS.....	10
2.1.1 Reseña del PACS.....	10
2.1.2 Estructura del PACS.....	12
2.2 Sistemas PACS para el aprendizaje en ingeniería biomédica.....	14
2.3 Sistemas de Adquisición de Imágenes Médicas (Modalidades).....	17
2.3.1 Sistemas de Radiaciones Ionizantes.....	17
2.3.2 Sistema de Ultrasonido.....	17
2.3.3 Sistema de Electromagnetismo.....	18
2.3.4 Sistema de Medicina Nuclear.....	18
2.4 El Estándar Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM).....	18
2.5 Diseño y dimensionamiento de hardware para servidores PACS.....	20
2.6 Diseño de Base de Datos.....	22
2.7 Librerías y software de código abierto.....	23
2.8 Visualizadores DICOM de código abierto.....	24
2.9 Telemedicina.....	25
2.9.1 Teleradiología.....	26
2.9.2 Transductor portable de ultrasonido.....	27
CAPÍTULO 3.....	28
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	28
3.1 Integración de herramientas para el diseño del PACS.....	28
3.1.1 Matriz redundante de discos independiente (RAID).....	28
3.1.2 Sistema operativo de código abierto.....	28

3.1.3 Base de datos MySQL.....	29
3.1.4 Tecnología java.....	29
3.1.5 Lenguaje php.....	30
3.1.6 Apache.....	30
3.1.7 Estándar DICOM.....	30
3.1.8 Servicios PACS.....	30
3.2 Criterios de diseño y especificaciones técnicas.....	31
3.2.1 Diagrama de flujo de diseño y desarrollo del sistema.....	31
3.2.2 Especificaciones del sistema y definición de entidades.....	32
3.2.3 Especificaciones de los componentes del sistema.....	33
3.2.3.1 Sistema de adquisición de imágenes de ultrasonido (Modalidad).....	33
3.2.3.2 Servidor de almacenamiento y distribución de imágenes PACS.....	34
3.2.3.3 Cliente / Usuario: estación de visualización web (PC: mínimo requerimiento).....	34
3.3 Implementación del sistema propuesto.....	35
3.3.1 Configuración del servidor PACS.....	35
3.3.3 Instalación de java.....	37
3.3.4 Instalación de base de datos de código abierto.....	37
3.3.5 Configuración de los servicios DICOM.....	39
3.3.6 Configuración de los parámetros AE Title del nombre del Servidor PACS.....	40
3.3.7 Implementación de aplicación gráfica en el servidor base.....	41
3.3.8 Instalación de aplicación de visualización Web Cliente-Servidor.....	42
3.3.9 Implementación de servicios de consulta remota Web para aplicación de teleradiología.....	43

3.3.10 Integración de dispositivo portable de adquisición de imágenes de ultrasonido.....	49
3.3 Costos del proyecto.	51
CAPÍTULO 4.....	52
4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	52
4.1 Pruebas de adquisición de imágenes de ultrasonido.....	52
4.2 Pruebas de envío de estudios al PACS.....	52
4.3 Pruebas de funcionamiento del PACS e integración del sistema.	53
4.4 Pruebas de aplicación gráfica cliente-servidor.	53
4.5 Pruebas de consulta, descarga y visualización de las imágenes médicas.....	54
4.6 Pruebas de consulta remota y visualización web para aplicaciones de teleradiología.	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	58
BIBLIOGRAFÍA.....	60
APÉNDICE	62

ABREVIATURAS

DICOM	Imagen digital y comunicación en medicina.
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
IP	Protocolo de internet.
MIB	Magister en ingeniería biomédica.
MIP	Proyección de máxima intensidad.
MG	Mamografía digital.
MPR	Reconstrucción multiplanar.
MRI	Resonancia magnética.
Mysql	Sistema de gestión de base de datos.
PACS	Sistema de comunicación de imágenes médicas.
PHP	Página personal.
RX	Rayos X.
SO	Sistema operativo.
Sql	Lenguaje de consulta estructurada.
TAC	Tomografía axial computarizada.
TICS	Tecnologías de la información y de la comunicación.
UPS	Sistema ininterrumpido de potencia eléctrica.
US	Ultrasonido.
WADO	Acceso web al objeto DICOM.
3D	Tercera dimensión.
GPL	Licencia de derecho de autor.
JAVA	Just Another Vague Acronym.
HTML5	Lenguaje de Marcas de Hipertexto avanzado.
ACR	American College of Radiology.

NEMA National Electrical Manufacturers Association.

SIMBOLOGÍA

MHz Megahercios.
Ghz Gigahercios.
Gbps Gigabit por segundo.
dcm Extensión de archivo DICOM.
Jpeg Extensión de archivo de foto.
Mb Megabyte.
Mbps Megabit por segundo.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de stakeholders [Autores].....	7
Figura 1.2 Diagrama de bloques de la metodología del proyecto [Autores].....	8
Figura 2.1 Diagrama de flujo de un PACS [Autores].	12
Figura 2.2 Flujo completo de trabajo de un PACS [Autores].	14
Figura 2.3 Rol del ingeniero biomédico en los sistemas PACS [Autores].....	15
Figura 2.4 Estructura de un archivo DICOM. [8].....	19
Figura 2.5 Formato de un archivo DICOM [Autores].	19
Figura 2.6 Ecógrafo portátil [Autores].....	27
Figura 3.1 RAID nivel 1 [Autores].....	28
Figura 3.2 Componentes principales del PACS y Teleradiología [Autores].	33
Figura 3.3 Sistema portable de ultrasonido [Autores].....	33
Figura 3.4 Servidor PACS [Autores].....	34
Figura 3.5 Servidor PACS [Autores].....	34
Figura 3.6 Verificación de configuración del RAID 1 [Autores].	35
Figura 3.7 Sistema operativo Centos 7 [Autores].....	35
Figura 3.8 Configuración de usuarios [Autores].	36
Figura 3.9 Configuración de usuarios [Autores].	36
Figura 3.10 Carpetas de los instaladores [Autores].....	37

Figura 3.11 Proceso de instalación java [Autores].	37
Figura 3.12 Proceso de instalación del repositorio de la base de datos MySQL [Autores].	38
Figura 3.13 Proceso de instalación de base de datos MySQL [Autores].	38
Figura 3.14 Resumen de la instalación de la base da datos MySQL.....	38
Figura 3.15 Creación de tablas y acceso general a la base de datos MySQL.....	39
Figura 3.16 Instalación del motor de integración jboss-4.2.3 [Autores].	39
Figura 3.17 Consola web de administración de los servicios DICOM [Autores].	40
Figura 3.18 Consola de configuración de DICOM AE Title del PACS [Autores].	40
Figura 3.19 Consola web y administración del PACS [Autores].	41
Figura 3.20 Prueba de comunicación DICOM del sistema PACS [Autores].	41
Figura 3.21 Ruta donde se copian las librerías para visor web [Autores].	42
Figura 3.22 Ruta del visor local web [Autores].	42
Figura 3.23 Panel de ingreso [Autores].	43
Figura 3.24 Ruta de instalación [Autores].	44
Figura 3.25 Directorio de acceso web [Autores].	47
Figura 3.26 Archivos generados en la aplicación web [Autores].	47
Figura 3.27 Ruta de descarga de librerías [Autores].	48
Figura 3.28 Menú principal de la visualización web [Autores].	48
Figura 3.29 Lista de pacientes con la aplicación web [Autores].	49
Figura 3.30 Configuración del transductor en el ipad [Autores].	49
Figura 3.31 Adquisición de imagen de ultrasonido [Autores].	50
Figura 3.32 Menú de configuración del PACS en la modalidad [Autores].	50
Figura 4.1 Adquisición de imagen del ultrasonido [Autores].	52

Figura 4.2 Menú de configuración DICOM para envío al PACS [Autores].....	52
Figura 4.3 Consola web de administración del PACS [Autores].....	53
Figura 4.4 Pantalla de ingreso a la plataforma web del PACS [Autores].	54
Figura 4.5 Pantalla de búsqueda y lista de pacientes [Autores].	54
Figura 4.6 Opciones de visualización en la plataforma web del PACS [Autores].....	54
Figura 4.7 Visor web del PACS en formato jpeg [Autores].	55
Figura 4.8 Visor web del PACS en formato DICOM [Autores].....	55
Figura 4.9 Plataforma de ingreso HTML5 [Autores].	56
Figura 4.10 Visualización web en la plataforma HTML5 [Autores].	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Principales departamentos de un Hospital [Autores].	10
Tabla 2.2 Componentes básicos de un sistema PACS [Autores].	14
Tabla 2.3 Interacción del MIB con diferentes profesionales en un centro de salud u hospital [Autores].	16
Tabla 2.4 Peso de las imágenes en diferentes modalidades [Autores].	20
Tabla 2.5 Principales funciones del visor y estación de trabajo [Autores].	24
Tabla 2.6 Funciones especiales de una estación de trabajo [Autores].	24
Tabla 3.1 Costo del proyecto PACS [Autores].	51
Tabla 4 .1 Comparación de tiempos de envíos entre PACS y teleradiología [Autores].	57

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Identificación del problema

El avance global, siempre incorpora importantes aportes y desarrollos en las diferentes áreas tecnológicas; el sector de la salud se ha definido como primera necesidad en este tipo de innovaciones, tanto en infraestructura, equipamiento e instrumentación médica, por ende entre los principales objetivos a corto plazo en los centros de salud públicos y privados, es mantenerse a la vanguardia de la tecnología y ofrecer un servicio de calidad a los pacientes.

Dentro de este marco, se han identificado importantes avances en las diferentes áreas de un centro médico, entre los de mayor importancia están los departamentos de imágenes médicas y laboratorio clínico.

El departamento de imágenes médicas, incorpora diferentes tipos de modalidades de adquisición de estudios radiológicos, dentro de los cuales podemos mencionar sistemas como Tomografía computarizada (TAC), Resonancia magnética (MRI), Rayos X (RX), Ultrasonido (US), entre otros; estas modalidades de adquisición de imágenes, se convierten en las principales herramientas para los médicos en el propósito de búsqueda del diagnóstico de las enfermedades y es por este motivo, que el departamento de imágenes en un hospital tiene una importancia y un requerimiento muy alto.

Todas estas imágenes, son generadas por las modalidades, y deben ser distribuidas en los diferentes departamentos que el hospital, de allí la importancia que estas imágenes sean almacenadas y distribuidas en forma rápida y ágil, en los diferentes usuarios de cada departamento dentro de la unidad o centro de salud, este sistema toma el nombre de PACS (Sistema de almacenamiento y distribución de imágenes médicas).

Hoy en día, los sistemas PACS son utilizados de manera cotidiana en los centros de salud para el almacenamiento, distribución y visualización de imágenes médicas [1], estos sistemas se han convertido en parte fundamental de la infraestructura hospitalaria para la organización y gestión de la información digital radiológica de los pacientes, lo que ha permitido proporcionar almacenamiento económico, recuperación rápida de imágenes, acceso a imágenes adquiridas en múltiples modalidades y acceso simultáneo por usuarios concurrentes desde diferentes sitios. Con la estandarización de los protocolos de comunicación en medicina, los sistemas PACS se pueden integrar fácilmente a los diferentes sistemas informáticos, que funcionan en los centros de salud y forman parte de los servicios base para la aplicación de la teleradiología en el campo de la telemedicina.

Si bien la digitalización y transferencia de imágenes en radiodiagnóstico, se remonta a principios de los años 70, con la llegada de equipos digitales tales como Tomógrafos Axiales Computarizados, Rayos X digitales, Resonancia Magnética, entre otros [2], en nuestro país en los centros médicos, no se aplica de manera correcta y estandarizada los principios sobre el almacenamiento y distribución de las imágenes médicas, mucho menos se aplican de manera adecuada en la adaptación de nuevas plataformas tecnológicas en telemedicina, en la actualidad muchos centros médicos utilizan películas radiográficas, pese a que ya cuentan con equipos médicos digitales.

En base a los antecedentes, los profesionales que trabajan en el área sanitaria, sean estos ingenieros en informática, ingenieros biomédicos, ingenieros clínicos, médicos y demás profesionales a fines, deberían comprender de manera general los principios básicos y funcionamiento de los sistemas PACS y el alcance de estos, para adaptarse a una red informática integrada en el área de salud. Sin embargo, el conocimiento técnico sobre la implementación y utilización de estos sistemas, se adquieren en el mejor de los casos en el campo profesional con la práctica.

Es indispensable que los estudiantes de pregrado de las carreras de ingeniería informática, ingeniería biomédica, ingeniería clínica, ingeniería en electrónica, entre otras carreras universitarias a fines; estudien y comprendan de manera

práctica los sistemas PACS, sus alcances y nivel de integración, así como muchos otros sistemas informáticos aplicados a la medicina y telemedicina.

1.2 Justificación del problema

Un PACS, brinda un servicio informático importante dentro de un centro médico; entre sus principales características están:

- Servidores de almacenamiento de las diferentes modalidades de imágenes médicas.
- Sistema de gestión de datos.
- Red de transmisión de datos.
- Estaciones de visualización de imágenes.

El objetivo principal, es mejorar la eficiencia operativa mientras se mantiene o mejora la capacidad de diagnóstico. Estos sistemas han revolucionado la práctica de la radiología en las últimas dos décadas y han demostrado aumentar la productividad en radiología y medicina [3], esto se puede evidenciar con el aumento de atención a los pacientes, puesto que los licenciados médicos ya no pierden tiempo en imprimir una placa radiográfica.

En la actualidad existen muchas marcas reconocidas que han desarrollado sus propios sistemas PACS, en su continua evolución, estos sistemas han progresado en forma rápida, pero su costo de comercialización sigue siendo relativamente alto, por lo que no es tan fácil para algunos centros médicos, acceder a este tipo de implementación.

Con el fin de fortalecer la enseñanza experimental, la Universidad de Shandong localizada en China, estableció laboratorios de educación PACS y creó los experimentos cognitivos que abren los horizontes de los estudiantes y los ayuda a dominar el proceso específico de visualización, operación y procesamiento de imágenes médicas [4].

Los sistemas PACS, proporcionan una plataforma digital de tecnología informática importante en la investigación de la ingeniería biomédica [4], la implementación de servicios web de consulta, descarga y visualización de

imágenes médicas a través del internet, son de gran ayuda para la realización de los informes radiológicos a distancia, esta herramienta es la base para las aplicaciones de teleradiología.

Hace una década o más, los radiólogos vieron la necesidad que su especialidad requiera una cobertura las 24 horas, los 7 días de la semana, poder comunicarse mejor con el personal clínico y proporcionar informes ágiles a los departamentos de emergencias, UCI entre otros. Así mismo la necesidad de prestación de informes eficientes, con un enfoque de calidad y fácil accesibilidad y que incluso permita la interconsulta a través de los portales web. Y es así como la teleradiología es un valioso asistente para los grupos de radiólogos en lograr estos objetivos [5].

La integración de un dispositivo de imágenes médicas de ultrasonido portable de última tecnología, permite explorar los avances en los sistemas de adquisición de imágenes, que al mismo tiempo ofrecen una conectividad inalámbrica y envío remoto de los datos, a los sistemas de almacenamientos de imágenes. La convergencia de los sistemas portables de adquisición de imágenes, las tecnologías de información, comunicación, los sistemas PACS, los servicios web de consulta y visualización de imágenes médicas, esto va a permitir que los estudiantes se enfoquen y se adapten a la teleradiología, para que en un futuro sean un ente regulador y/o consultor en el departamento de bioingeniería de un hospital o centro médico.

El propósito de implementar e instalar en el laboratorio de electrónica médica, un servidor PACS de código abierto didáctico, es la de permitir que los estudiantes adquieran un nivel de práctica y entendimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de adquisición, almacenamiento, distribución y visualización de imágenes médicas y a su vez, comprender su alcance en los servicios de teleradiología como aplicación de la telemedicina.

Además, los estudiantes van a comprendan el proceso de diagnóstico sin película y la utilización de la teleradiología, como herramienta informática para la realización de los informes médicos ante la falta de especialistas en radiología e imagenología. Al interactuar con este sistema, los estudiantes

pueden mejorar su capacidad práctica y estar familiarizados con su entorno de trabajo en el futuro, también los inspirará a pensar más profundamente sobre el desarrollo de la tecnologías en la medicina [4].

1.3 Solución propuesta.

Diseñar e implementar un PACS didáctico usando código abierto con servicios web de visualización de imágenes médicas para el laboratorio de electrónica médica de la ESPOL, integrado a un dispositivo portable de adquisición de imágenes de ultrasonido para aplicaciones de teleradiología, que funcione como una consola informática de experimentación en el laboratorio, de esta manera los estudiantes podrán adquirir un nivel de práctica y entendimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de adquisición, almacenamiento, distribución y visualización de imágenes médicas y a su vez comprender su alcance en los servicios de teleradiología como aplicación de la telemedicina.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un PACS didáctico usando código abierto para el laboratorio de electrónica médica, integrado a un dispositivo portable de adquisición de imágenes de ultrasonido para aplicaciones de teleradiología.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. - Implementar un servidor de base de datos e imágenes médicas, utilizando código abierto que soporte el protocolo de comunicación DICOM.
2. - Integrar un dispositivo portable de ultrasonido que permita explorar explorar los avances tecnológicos en los sistemas de adquisición de imágenes médicas.
3. - Implementar en el servidor principal, servicios de consulta remota y visualización web de imágenes médicas para la realización de los informes radiológicos a distancia, para aplicaciones de teleradiología.

4. - Brindar a los estudiantes, del laboratorio de electrónica médica, una herramienta para adquirir un nivel de práctica y entendimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de adquisición, almacenamiento, distribución y visualización web de imágenes médicas y a su vez comprender su alcance en los servicios de teleradiología como aplicación en el campo de la telemedicina.

1.5 Metodología

A partir de la identificación del problema, se analizarán las herramientas, librerías y códigos abiertos disponibles, que se encuentren en constante desarrollo; actualizaciones disponibles para diseñar la estructura y arquitectura de un sistema PACS didáctico, que cumpla con las normas y estandarización de un sistema profesional y comercial.

Se definirán las entidades y especificaciones del sistema, así como el diseño de la infraestructura y arquitectura del sistema.

En esta implementación se utilizará la modalidad de ultrasonido, para lo cual se gestionará con la empresa privada el préstamo de un dispositivo médico portátil con opción de comunicación DICOM activada, para integrarlo al sistema y obtener de las imágenes médicas de ultrasonido, que posteriormente serán enviadas y almacenadas en el PACS.

Se implementará un servidor local, en base al hardware definido en el diseño, donde se instalará el software necesario, servicios DICOM de código abierto y aplicaciones gráficas para interacción Cliente – Servidor.

Se integrará un visor de imágenes DICOM, para la visualización local de las imágenes médicas en el servidor principal del PACS.

Se integrará al sistema PACS un dispositivo de adquisición de imágenes médicas de ultrasonido portable de última tecnología para la adquisición y envío de imágenes de ultrasonido con formato DICOM. Implementación de servicios de consulta remota y visualización web de las imágenes médicas para aplicación de teleradiología. Así mismo se implementarán las seguridades de

autenticación y autorización para el acceso a la base de datos y protección de la información.

Por motivos de seguridad y confidencialidad, la información demográfica de los pacientes será anonimizada, previo el envío de las imágenes médicas al servidor PACS.

Para fines didácticos y prácticos se utilizará un Phantom (cuerpo de prueba) multipropósito certificado, utilizados para imitar el tejido humano y adquirir imágenes válidas para las pruebas del sistema.

Se realizarán las pruebas de funcionamiento del sistema que implica: test de integración y conectividad DICOM del sistema, test de acceso a base de datos, envío y recepción de imágenes DICOM, consulta y visualización de imágenes DICOM Cliente – Servidor y pruebas de seguridad del sistema.

1.6 Stakeholders del proyecto.

En la siguiente Figura se define los actores del proyecto.

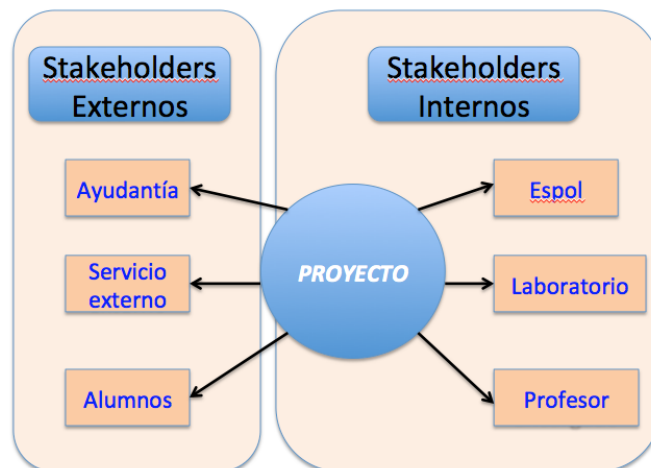


Figura 1.1 Diagrama de stakeholders [Autores].

1.6.1 Stakeholders Internos.

- **ESPOL.-** Eje central, institución educativa siempre lista para repotenciar sus áreas de trabajo para formación de profesionales afines a la ingeniería biomédica.

- **Laboratorio de Electrónica médica.**- Área dedicada al desarrollo de proyectos para el aprendizaje en el área de electrónica médica y sistemas biomédicos.
- **Profesor(a).**- Responsable del área y encargada de impartir los conocimientos de los diversos desarrollos o proyectos en sitio.

1.6.2 Stakeholders Externos.

- **Ayudantía.**- Personal de apoyo en el laboratorio, dedicado a precautelar, mantener y supervisar el trabajo en los sistemas biomédicos del laboratorio
- **Servicio externo.**- Personal activo que esta dispuesto a mantener corregir, los sistemas en caso que se requiera ayuda.
- **Alumnos.**- Comunidad que va aprender los conocimientos que imparten los profesores con la finalidad de llegar a ser profesionales a futuro.

1.7 Metodología.

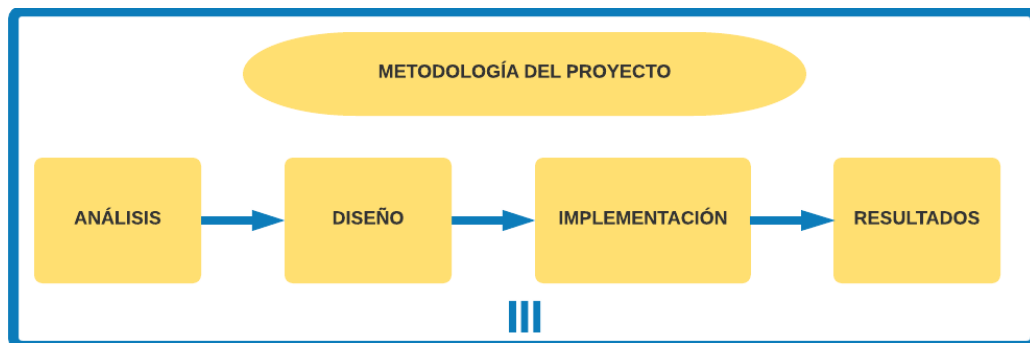


Figura 1.2 Diagrama de bloques de la metodología del proyecto [Autores].

- **Análisis.**- A partir de la identificación del problema se analizarán las herramientas, librerías y códigos abiertos disponibles, que se encuentren en constante desarrollo y actualización para diseñar la estructura y arquitectura de un sistema PACS didáctico que cumpla con las normas y especificaciones profesionales. Se analizará también las herramientas necesarias para establecer un servicio web de teleradiología.
- **Diseño.**- Definición de las entidades y especificaciones del sistema, así como el diseño de la infraestructura y arquitectura de funcionamiento.

- **Implementación.-** Implementación de un servidor local PACS utilizando librerías de código abierto, se integrará un modalidad de ultrasonido para la adquisición de la imagen médica (DICOM), se integrará un visor de imágenes DICOM para la consulta y visualización de las imágenes.
- **Resultados.-** Pruebas de adquisición, envío, consulta y visualización de las imágenes DICOM de manera local y remota.

1.8 Resultados esperados.

Se espera lograr la implementación un sistema PACS didáctico, usando código abierto para el laboratorio de electrónica médica, se va ha utilizar un dispositivo portable de adquisición de imágenes de ultrasonido (prestado por la empresa privada) como modalidad, para aplicaciones de teleradiología en el campo de la telemedicina, de manera que se pueda demostrar y profundizar de manera práctica, el funcionamiento de los sistemas de adquisición, almacenamiento, distribución y visualización de imágenes médicas.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Fundamentos de un sistema PACS

2.1.1 Reseña del PACS

Los Hospitales y clínicas, son entidades dedicadas a brindar cuidados de la salud, un centro medico debe mantener importantes departamentos especializados, en cuanto a su infraestructura hospitalaria se refiere, los principales se mencionan en la siguiente tabla:

Departamento	Función
Laboratorio Clínico	Unidad encargada de receptor diferentes tipos de prueba como sangre orina, y/o heces
Unidad de Cuidados intensivos	Unidad equipada para atender pacientes en estado grave
Emergencia	Atención preliminar para pacientes accidentados
Departamento de Imágenes	Unidad encargada de obtener estudios tanto radiológicos como de ultrasonido y otros, para obtención e interpretación de imágenes del cuerpo humano.

Tabla 2.1 Principales departamentos de un Hospital [Autores].

Es evidente que la tecnología que tienen los hospitales de hoy día, son muy diferentes a los de hace años atrás y con toda seguridad a los de dentro de algunos años. No se puede cuantificar el crecimiento del futuro sin una presencia creciente de soportes tecnológicos y de telemedicina. De hecho, un hospital debe estar siempre pensando en los avances tecnológicos, lo cual evitaría pérdidas de tiempo y recursos.

Uno de las principales unidades en estas entidades, es el departamento de radiología, formado por diferentes tipos de equipos médicos radiológicos

(llamados modalidades), que ayudan al diagnóstico preliminar de un paciente, y son muy determinantes e imperativos en la utilización y la necesidad de realizarse este tipo de estudios.

Equipos médicos como TAC, MG, RX entre otros, son sistemas que utilizan radiaciones ionizantes, así como otras modalidades tales como el US, MRI que no utilizan radiaciones ionizantes, son los encargados de realizar los diferentes estudios que han sido solicitados previamente por el departamento del hospital o clínica, y su resultado final es entregar una imagen médica, presentada sea en la consola del sistema, placa radiográfica o papel térmico

Estos estudios eran entregados en forma física, sea placas radiográficas, papel térmico, u otros medios, los mismos que en ocasiones eran entregados al paciente (si lo solicitaban) o eran almacenados en estanterías dentro de las instituciones, estas placas además se convierten en basura contaminante, pues son compuestos de aleación de plata y su reciclaje es muy difícil.

Como resultado final de este tipo de trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Pérdida de estudios.
- Demora en la entrega.
- Excesivo personal para la entrega de estudios.
- No existía respaldo de los estudios.
- Área de trabajo innecesaria.
- Acumulación de pacientes esperando la recepción de los estudios.

Un departamento de radiología digital, tiene la necesidad de almacenar, respaldar y distribuir todos estos estudios que contienen imágenes radiológicas en un solo servidor, pero existía un problema, todas las modalidades que obtenían sus estudios digitales, debían comunicarse en un lenguaje único, de allí que en 1985 Colegio Americano de Radiología y la Asociación de Industrias de Electricidad Nacional [6], logran crear la interface DICOM, formato y extensión de la imágenes médicas, esto logró estandarizar a todas las marcas

con el fin que sus modalidades trabajen en una sola comunicación, de ahí surgen el sistema PACS.

En la Figura 2.1 podemos ver, como la imagen radiológica, tiene la extensión .dcm, que representa un archivo DICOM y puede ser almacenado para que las mismas sean revisadas por diferentes usuarios.

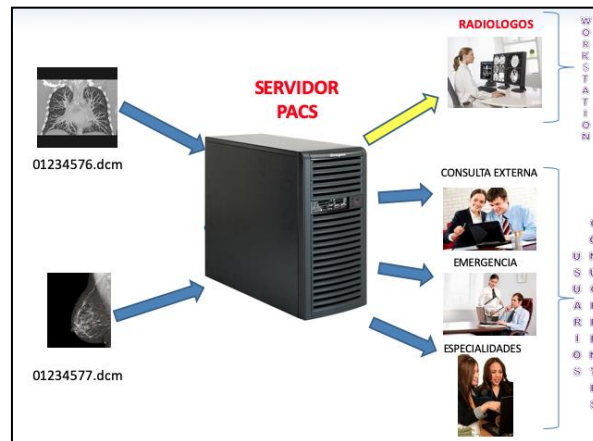


Figura 2.1 Diagrama de flujo de un PACS [Autores].

2.1.2 Estructura del PACS

Un Sistema PACS, recepta, almacena y distribuye las imágenes médicas, pero existe una estructura externa que es requerida, para que el sistema trabaje en forma idónea, se puede ver en la Figura 2.2; a continuación se mencionan, las principales herramientas, para que el sistema PACS, funcione en forma correcta:

- **Servidores.** - Es necesario que el sistema PACS sea instalado en un servidor, el dimensionamiento y las características del servidor van a depender del flujo de trabajo, cantidad de pacientes, tipo de modalidad y tiempo que se desee almacenar los estudios, de ahí que se debe dimensionar en base a estos parámetros el tipo de servidor que se requiere utilizar para el Sistema PACS.
- **Sistema Operativo.** - Generalmente los sistemas operativos son desarrollados en código abierto, hoy en día son sistemas robustos, que trabajan en forma correcta para el funcionamiento del servidor.

- **PACS.** - Existen innumerables códigos abiertos para el diseño de un sistema, aquí hay que verificar si es compatible y quien tiene mejor rendimiento con el sistema operativo, y además maneja la base da datos que mas se adecue al sistema operativo.
- **Cuarto de servidores.** - Se debe instalar un rack de acuerdo a las necesidades de almacenamiento del PACS, pero este sistema debe estar en un cuarto con todas las seguridades de un centro de cómputo, UPS, recordemos que este servidor PACS va administrar los datos de los pacientes y la información no debe filtrarse de ninguna manera.
- **Cableado estructurado.** - La comunicación entre los sistema PACS y las modalidades, se hacen con transmisión de archivos con extensión .dcm, pero la comunicación física lo hace en redes de datos, para lo cual se utiliza las mismas normas y criterios de comunicaciones entre cliente-servidor, es decir debe tener un cableado mínimo de categoría 6A certificado para distancias menores y si se requiere interconexión a mas de 100 metros se debe utilizar fibra óptica.
- **Routeadores administrables.** - La comunicación de los sistemas deben ser conectados a un ruteador administrable, donde el mismo sea configurable para evitar que ninguna dirección IP externa, trate de ingresar al servidor principal.
- **Internet Dedicado.** - El Sistema trabaja 24/7, por lo que es recomendable que en el área tenga un sistema de internet dedicado con velocidad mínima de 1Gbps, con eso se puede cubrir un nivel de mantenimiento y atención en primer nivel.
- **Visores.** - Las imágenes médicas enviadas requieren un visor DICOM que sea fácil de acceder y a su vez tenga las seguridades de acuerdo con privilegios del usuario, este visor debe tener herramientas de trabajo, para que el médico pueda revisar y interprete una imagen y poder realizar una evaluación correcta.
- **Estaciones de trabajo.** - A más de tener todas las características de un visor medico, el software debe mantener herramientas especializadas de diagnóstico en la que se pueda realizar 3D, MPR, MIP para realizar un informe radiológico exacto.

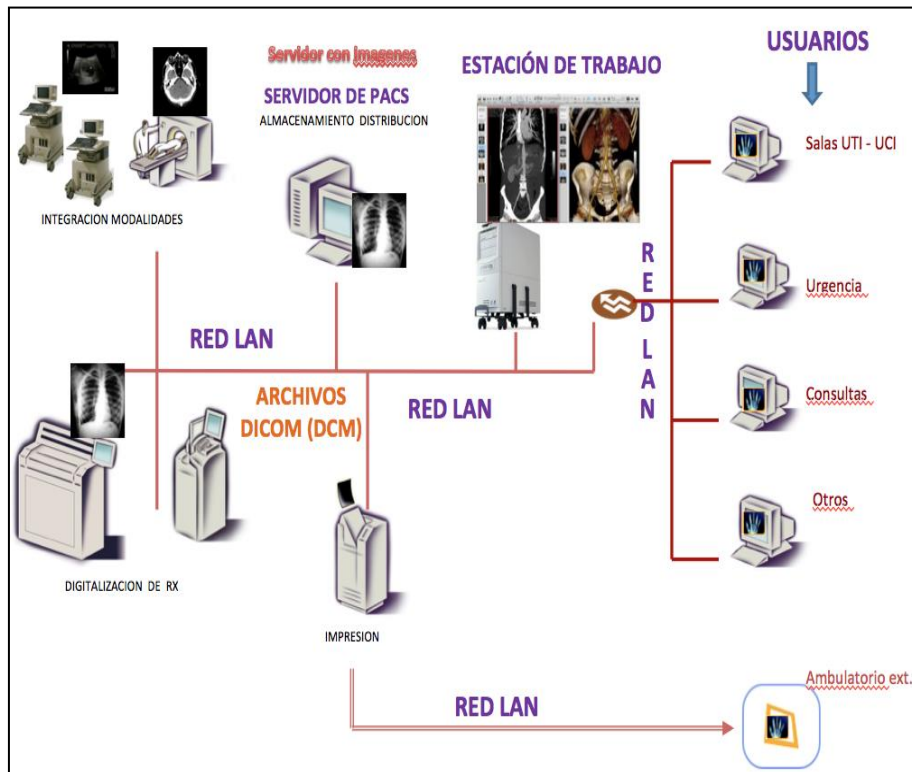


Figura 2.2 Flujo completo de trabajo de un PACS [Autores].

2.2 Sistemas PACS para el aprendizaje en ingeniería biomédica.

Los sistemas PACS, han ayudado al Departamento de Radiología y han fortalecido el avance tecnológico, En la tabla se describe un sistema de componentes, [7] que unidos han dado como resultado un desarrollo de procesamiento, de imágenes radiológicas que pueden ser visualizadas en forma interna y externa en el hospital.

Item	Componente
1	Imágenes DICOM
2	Estaciones de trabajo
3	Bases de datos
4	Sistemas de almacenamiento
5	Redes de comunicación

Tabla 2.2 Componentes básicos de un sistema PACS [Autores].

Esto concluye, la necesidad de tener profesionales afines a la electrónica, computación e ingeniería biomédica, si bien es cierto el sistema PACS se compara con un servidor que almacena bases de datos, también es cierto que los datos almacenados son imágenes médicas tipo DICOM, estos estudios son utilizados por profesionales radiólogos, que revisan si algún paciente tiene anomalías o patologías y deben ser informados en forma urgente, se puede apreciar en la siguiente Figura 2.3, la interacción de diversos profesionales con el paciente.

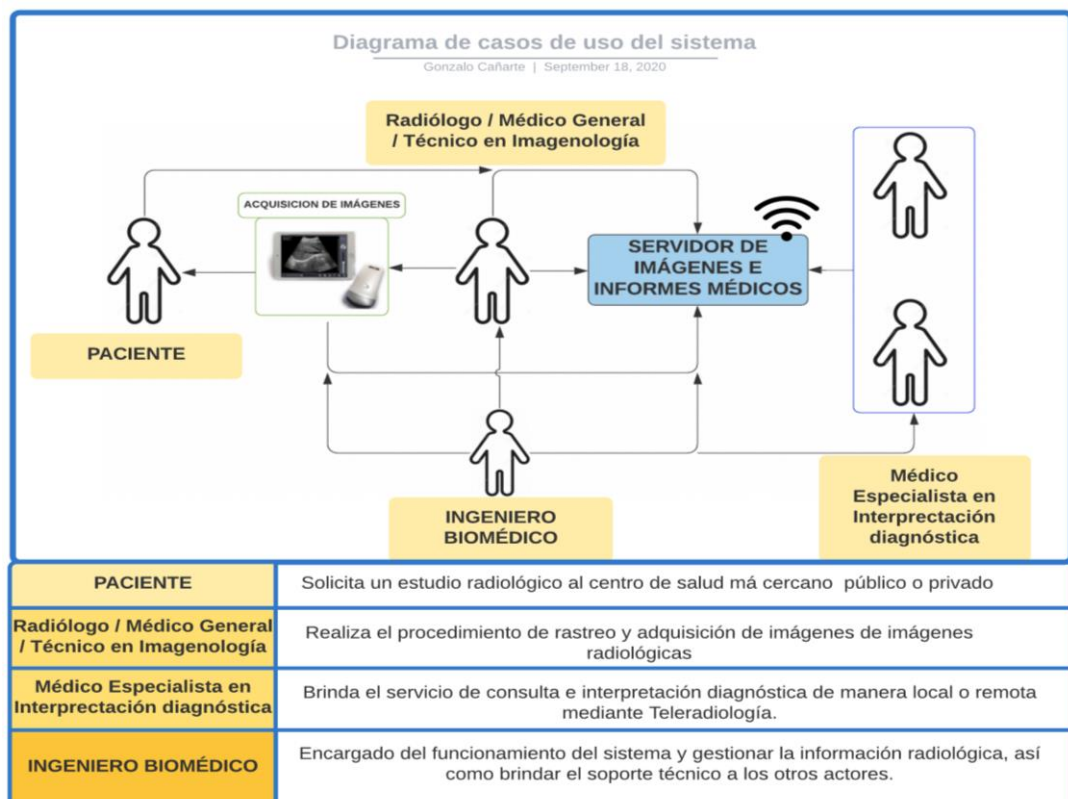


Figura 2.3 Rol del ingeniero biomédico en los sistemas PACS [Autores].

Diferentes universidades a nivel mundial de MIB, aparte de mantener un laboratorio de electrónica médica, deben tener un sistema de PACS didáctico, con las herramientas necesarias para poder almacenar imágenes radiológicas, configuración de modalidades y configuración de visores para usuarios, sean médicos generales o médicos radiólogos, por eso la implementación de un sistema didáctico, es de suma importancia para que el estudiante se prepare para el mundo real de integración de sistemas radiológicos.

Acción realizada	Profesional involucrado	Rol del Ingeniero Biomédico
Adquisición de imágenes médicas, el encargado de tomar los estudios en las diferentes modalidades.	Licenciado Radiólogo.	Si existe error de confusión de datos o estudios mal adquiridos, el MIB debe realizar un control en las consolas de las modalidades y verificar si el estudio ha sido bien realizado.
Transmisión correcta de los estudios.	Ingeniero TICS.	Si existe error de entrega de estudio, verificar en un panel de control si existe conexión correcta entre direcciones IP, entre las modalidades y el PACS
Almacenamiento de Imágenes médicas.	Ingeniero TICS.	Se debe diseñar con un estudio previo para cuantificar el tipo y la cantidad de almacenamiento que se requiere para los estudios que va a ser utilizados.
Fallas en el sistema PACS.	Ingeniero desarrollo del PACS.	Debe prevenir daños y cambios de hardware (si se requiere por cambio tecnológico), además se debe exigir un sistema de respaldo a la empresa desarrolladora
Mantenimiento del sistema.	Ingeniero de mantenimiento del hospital.	Mantener un historial del sistema.

Tabla 2.3 Interacción del MIB con diferentes profesionales en un centro de salud u hospital [Autores].

Es evidente que un PACS, reúne muchas herramientas y abarca todas las modalidades que tiene un departamento radiológico, además se interactúan

diferentes tipos de profesionales, de aquí el entender y trabajar en el entorno a este sistema, hacen que el ingeniero biomédico, sea de suma importancia.

2.3 Sistemas de Adquisición de Imágenes Médicas (Modalidades).

Los diferentes equipos de adquisición de imágenes médicas son llamados modalidades, estos sistemas de diagnóstico se dividen en:

- Sistema que utilizan radiaciones, ionizantes.
- Sistema que utilizan Ultrasonido.
- Sistemas que usan Electromagnetismo.
- Sistemas de Medicina Nuclear.

2.3.1 Sistemas de Radiaciones Ionizantes.

Rayos X.- Son sistemas que trabajan con la radiación electromagnética, de muy alta energía y pueden atravesar la mayoría de los objetos, incluyendo el cuerpo, y al ser digitalizados en un detector especial, forman imágenes de tejidos y estructuras internas del cuerpo humano.

Muchas modalidades utilizan este tipo de radiación entre las principales podemos mencionar.

- Tomografía.
- Angiografía Digital.
- Fluoroscopia.
- Densitometría entre otros.

La diferencia entre estos sistemas, es la forma de obtener las imágenes radiológicas, sean 2D o 3D y la cantidad de radiación emitida por cada modalidad.

2.3.2 Sistema de Ultrasonido

Ecógrafo.- Es un sistema de diagnóstico no invasiva, que se utiliza para adquirir imágenes dentro del cuerpo. Los transductores, producen ondas sonoras que tienen frecuencias muy altas con orden de 2 a 15 MHz.

Las ondas son producidas por un transductor, el cual puede emitir ondas de ultrasonido así como detectar los ecos reflejados por el ultrasonido.

Existen derivados de este tipo de sistemas que utilizan ultrasonido como son los ecocardios y ecos Doppler.

2.3.3 Sistema de Electromagnetismo

Resonancia Magnética. - Sistema que utiliza el fenómeno del electromagnetismo, para producir imágenes médicas, estos sistemas no utilizan radiación ionizante y se especializan para realizar estudios en su parte funcional, su preinstalación es más compleja, puesto que requiere una jaula de Faraday para evitar artefactos en las imágenes médicas.

2.3.4 Sistema de Medicina Nuclear

Medicina Nuclear. - Sistema que utiliza un material radioactivo, el mismo que es suministrado al paciente, este fármaco emite radiación, que es a su vez es receptado por una foto multiplicar y presenta una imagen médica.

2.4 El Estándar Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM).

Es un estándar que sirve para definir la transferencia de las imágenes médicas de las diferentes modalidades para sistemas de distintos fabricantes, un archivo de imagen médica viene con la extensión .dcm, como objetivo principal es mantener información biomédica y comunicarse con diferentes sistemas PACS.

El estándar DICOM 3.0 [6], en el año de 1992, evolucionó los estándares de comunicación en las versiones 1.0 y 2.0, desarrollados por ACR y NEMA, con los principales objetivos como son :

- Integrar la comunicación de diferentes modalidades de distintos fabricantes.
- Permitir la creación y facilitar la comunicación entre diferentes sistemas PACS.

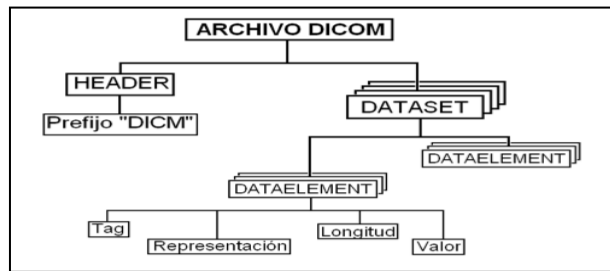


Figura 2.4 Estructura de un archivo DICOM. [8]

Un archivo DICOM, tiene información importante de cabecera, lo cual convierten a este archivo en un elemento completo, es decir mantiene la imagen y también mantiene datos fundamentales de la técnica, que se usó al realizar el estudio.

El archivo DICOM tiene una cabecera que consta de 128 bytes y contiene toda la información que es relevante para los estudios, en la cabecera se menciona si el estudio es un TAC, MRI O US, también tenemos información del tipo de modelo, nombre de la institución, nombre del paciente y diferentes datos demográficos, ingresados cuando se documentó al paciente antes de realizar el estudio.

Los data set (datos de elementos) contienen información sobre varias imágenes y series que se usaron, en los diferentes tipos de modalidades.

Cada etiqueta es un identificador único para cada datos de elementos compuesto de dos partes. El DICOM utiliza una nomenclatura como: (gggg,eeee) el primer valor hexadecimal de 2 bytes es el número de grupo y el segundo es el número del elemento. Por ejemplo (0010,0030) corresponde a la fecha de nacimiento del paciente [8].


DATOS ELEMENTOS	CABECERA DATOS
	<p>Nombre: Homero J. Simpson. Dirección: Avenida Siempre Viva 742, Springfield. Fecha Nacimiento: 12-Mayo-1955 Sexo: Masculino. Profesión: Técnico Supervisor.</p> <p>Radiografía encefalocraniana: Se puede observar una importante insuficiencia de masa encefálica. El líquido en el que esta sumergido podría ser agua, pero no es seguro. Llama la atención que ni los ojos ni los oídos están conectados al cerebro, y sin embargo puede ver y escuchar.</p>

Figura 2.5 Formato de un archivo DICOM [Autores].

2.5 Diseño y dimensionamiento de hardware para servidores PACS

2.5.1 Almacenamiento.

Una Parte fundamental del sistema PACS, es dimensionar el almacenamiento de las imágenes radiológicas, para lo cual se requiere tener la siguiente información:

- **Tamaño de los estudios.** - Se debe analizar el tamaño en peso (Mb) de cada estudio por diferente modalidad, con referencia a la siguiente Tabla

Modalidad	Tamaño de la Imagen	Almacenamiento en Mb por imagen	Número de imágenes por estudio	Almacenamiento en Mb por estudio
TAC 16 slices	512 x 512	0,524	50 a 100	26,2 a 52,4
TAC 64 slices	512 x 512	0,524	50 a 500	26,2 a 262
MRI	256 x 256	0,131	160	20,96
DR	2000 x 2500	10	1 a 3	10 a 30
MG	3000 x 3000	18	3	54
US	640 x 480	0,614	10	6,14
CR	2000 x 2500	10	1 a 3	10 a 30
XA	1024 x 1024	1,05	15	15,75
MN	256 x 256	0,131	10	1,31

Tabla 2.4 Peso de las imágenes en diferentes modalidades [Autores].

- **Número de pacientes.** - Este análisis generalmente lo realiza el jefe del establecimiento que va a brindar el servicio, aquí se define si el hospital va trabajar 24/7, que tipo de modalidad se va instalar en primer lugar, cuales son sus proyecciones a un determinado tiempo. Uno de los principales errores que se comete en una implementación de PACS, en lo que respecta al dimensionamiento del almacenamiento, es que nunca se determina con exactitud cuales son los objetivos en un determinado tiempo, y simplemente dimensionando lo básico. Además, se debe diseñar el tipo de respaldo que debe usar el sistema PACS, como tipos de arreglos de los discos duros., sean RAID1 tipo espejo, RAID 5 método de paridad para proveer redundancia en cuanto a falla de algún disco duro. El arreglo recomendado para hospital de gran demanda de pacientes es el sistema tipo RAID 5, pero esto se traduce en gastos de hardware para el diseño del sistema PACS.

2.5.2 Hardware.

Una vez diseñado el tamaño de almacenamiento, se debe establecer los parámetros que lleven a adquirir el servidor que vaya a trabajar y tenga el mejor funcionamiento, para que este almacenamiento funcione en forma correcta, se debe analizar el tipo de estabilidad que se requiere.

2.5.2 Software.

Existen muchos SO, que pueden brindar un rendimiento óptimo, pero uno de los mas robustos y estables son los de código abierto, Linux, es el sistema que más se adapta al proyecto.

Se debe realizar un verdadero análisis, tanto en el dimensionamiento del almacenamiento como en el sistema operativo, hardware, al escoger correctamente estos factores, la repotenciación a futuro o migración de estudios, puede resultar fácil, se puede ahorrar recursos y sobre todo se puede evitarse paralizaciones.

2.6 Diseño de Base de Datos

Se ha estudiado, como un archivo DICOM en su estructura esta formado por una cabecera de datos único por cada imagen, como principal objetivo es evitar la duplicidad de imágenes médicas, organizar la información mediante lazos de datos, por lo tanto, es necesario saber que tipo de base de datos se va a utilizar.

Existen diferentes tipos de base de datos que se pueden utilizar para el diseño de un PACS, entre las bases de datos que soportan estos sistemas podemos mencionar:

- Oracle.
- Sql Server.
- MySQL.

Algunas bases de datos, las licencias son pagadas por su uso y mantenimiento de las mismas.

Para fines del presente, proyecto vamos a trabajar con la base de datos MySQL, que es un desarrollo de código abierto, además es compatible para librerías que permiten lenguajes de programación como php, Java, C++, Python, trabaja en diferentes sistemas operativos, y soporta elevados tipos de datos [9].

El método para el Diseño de una base de datos es:

- **Análisis de los objetos principales dentro del sistema.** - Evaluar cuales son los datos necesarios que un sistema PACS requiere.
- **Identificación de las entidades.** - Verificar que tipo de usuarios se requiere, datos demográficos, diferentes campos.
- **Organización de los datos en tablas.** - Identificar los dominios y propiedades de las entidades, ejemplo edad= Entero positivo, mínimo 0 máximo 127.
- **Especificación y análisis de relaciones.** - Se identifica el tipo de relaciones entre las entidades, para ver si es necesario crear mas tablas.
- **Normalización de las tablas.** - Se identifica los datos redundantes, que no son necesarios para el funcionamiento del sistema.

2.7 Librerías y software de código abierto.

Los sistemas código abierto o llamado “**open source**” [12], se han convertido en una herramienta importante en el mundo corporativo. Cada vez son más las empresas que usan este tipo de sistemas, es evidente que su desarrollo lo han convertido en una competencia fuerte a los sistemas pagados; con la creación del estándar DICOM, los diferentes desarrolladores se vieron en la urgencia de crear nuevas herramientas que permita crear aplicaciones que fueran capaces de ser utilizadas en sistemas PACS y puedan ser instalados a en un hardware de diagnóstico y que sea utilizado en hospitales y clínicas.

Se han creado varias librerías de código abierto podemos destacar.

- **JDT (Java DICOM toolkit).**- Soportada completamente por Java, herramienta muy útil para programar con el estándar DICOM 3.0, funciona sobre JDK 1.1.X y java 2, Jboss [10]. La gran comunidad de programadores ha derivado o ha sido el comienzo de algunos sistemas PACS, dentro de las principales características de la librería están:
 - Soporte de comunicaciones DICOM.
 - Soporte para transferencias de imágenes comprimidas.
 - Entradas y salidas de datos DICOM.
 - Estructura java a tipos DICOM.
- **DCMTK.**- Herramientas con una amplia librería que son compatibles con el estándar DICOM [11] para la comunicación de imágenes médicas desarrollada por la empresa alemana Offis; escrita en lenguaje C y C ++ y compilado en Microsoft Windows y sistemas código abierto; las librerías incluyen worklist, almacenamiento y comunicación de imágenes DICOM, dentro de las principales características de la librería están:
 - Algunas herramientas mueven datos entre puntos finales DICOM, mientras que otras los mueven desde el exterior a un punto final.
 - Tiene herramientas simples de bajo costo, junto con herramientas de usuario avanzado más configurables, como almacenamiento y búsqueda.

- Proporciona manipulación de datos sincrónica y también procesos para el flujo de datos de alto nivel, que se pueden utilizar en producción.
- DCMTK admite una gama de muchas funciones DICOM y abarca amplias utilidades en el dominio médico. Tiene muchas funciones de diagnóstico incluso para realizar ping y verificar conectividad.

2.8 Visualizadores DICOM de código abierto.

En los sistemas PACS, los visores DICOM, son fundamentales para revisar la información almacenada, [13] de no existir esta aplicación, los médicos no podrían revisar las imágenes médicas, por lo que es necesario que todo sistema PACS tenga incorporada un visor DICOM.

Entre los visores médicos, están las estaciones de trabajo y los visores web, las principales características de estos 2 visualizadores son:

Función	Descripción
Buscador de Estudios (Query)	Buscar estudios sean por nombre, modalidad, fecha de estudios realizados.
Manipulación de imágenes médicas	Herramientas para realizar medidas, mediciones de ROI, comparar estudios entre modalidades, entre otros
Reconstrucciones	MPR, MIP.

Tabla 2.5 Principales funciones del visor y estación de trabajo [Autores].

Para las estaciones de trabajo, existen más funciones especiales, entre las principales.

Función	Descripción
Interpretación	Herramientas para escritura de informes.
Documentación	Presentar reportes del diagnóstico.
Reconstrucciones	3D volumétrico.

Tabla 2.6 Funciones especiales de una estación de trabajo [Autores].

Existen muchos visores médicos, pero podemos mencionar que todos fueron desarrollados en base a los siguientes visores principales que son:

- **Oviam.-** Sistema que permite revisar cualquier archivo.dcm, que admita WADO su implementación en base a java-jboss.
- **Weasis.-** Visor multipropósito, basada en la web y totalmente modular.

Las estaciones de trabajo open source entre las más usadas están:

- **Horos.-** Estación de trabajo con sistemas de 3D, MPR, trabaja en sistema operativo MAC.
- **Cleancanvas.-** Trabaja en sistemas operativos Windows, existe versión open source y pagada, la diferencia es el apoyo técnico y actualización de mejoras al sistema.
- **Voxar.-** Sistema que trabaja en sistemas operativo Windows, actualmente, la función pagada, fue adquirida por una importante fabricante de TAC
- **Osirix.-** Versión que comenzó trabajando en sistema Operativo Windows, hoy tiene el apoyo tecnológico de Apple, trabaja solo en sistema operativo MAC, de gran utilidad en el desarrollo de visores de código abierto[14].

2.9 Telemedicina

Dentro de los avances tecnológicos en el mundo de la telemedicina[15], podemos mencionar varios módulos en los que podemos mencionar:

- **Teleconsulta.** - Sistema interactivo de un médico con el paciente por medio de una plataforma de videoconferencia.
- **Teleradiología.** - Sistema de envío de imágenes médicas para el diagnóstico con un especialista en imagenología.
- **Telemonitoreo.** - Equipos biomédicos con capacidad para transmitir los datos y signos vitales de un paciente a otra hospital o clínica
- **Telecirugía.** - Sistema de robot, para procedimiento de operaciones a distancia, se utiliza sistemas ya especializados para este tipo de procedimientos.

2.9.1 Teleradiología

Los sistemas PACS son la base de la obtención de los estudios en las modalidades del departamento de radiología, pero tienen su limitación cuando hablamos de teleradiología, y podemos observar que no están capacitadas para transmitir las imágenes médicas en forma rápida sin perder la calidad de imagen [16].

Recordemos que una imagen radiológica, no es una foto, tiene muchas características que hacen la diferencia entre un archivo con extensión .dcm y otro archivo con extensión .jpg

Otro factor importante para usar la teleradiología, es que no existen suficientes médicos imagenólogos especialistas en sitio, de ahí surge la necesidad de implementar el sistema de teleradiología, para lo cual se requieren muchos factores que se deben tener en cuenta para el uso de esta tecnología [17].

- **Modalidades digitalizadas.** - Toda Modalidad debe ser digitalizada, es decir debe crear archivos con extensión .dcm, y debe tener la licencia DICOM 3.0, para poder transmitir al sistema PACS.
- **Internet Dedicado.** - Debe existir un sistema de internet dedicado, mínimo de 2 Gbps, que sea capaz de transmitir las imágenes radiológicas, en forma rápida y sin pérdida de calidad.
- **Sistema de teleradiología.** - Servidor especial que se conecta al sistema PACS, pueda comprimir y desempaquetar los archivos sin perder la calidad de imagen y puedan ser transmitidas a la estación de trabajo de cualquier médico especialista, que esta fuera del hospital.
- **Estación de trabajo.** - El médico debe trabajar con una computadora personal, que debe contar con todas las herramientas de diagnóstico, y que sea capaz de recibir las imágenes en forma rápida, procesarlas y emitir el debido diagnóstico a la plataforma Hospitalaria.
- **Seguridad Informática.** - Todo este proceso debe ser administrado, y mantener una seguridad informática, para evitar pérdida de datos o que estos sean robados por agentes externos.

2.9.2 Transductor portable de ultrasonido.

Una de las modalidades mas usados, en el mercado tecnológico de imágenes médicas, son los ultrasonidos, sistemas que evolucionan en forma rápida, estos sistemas son cada vez mas portátiles y de buena calidad. Para el presente proyecto, se va ha utilizar un ultrasonido portable, que solo esta integrado por el transductor, su software esta integrado en una aplicación, y puede ser usado en un celular o tablet.



Figura 2.6 Ecógrafo portátil [Autores].

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo, se va a determinar la forma correcta de escoger, los diferentes tipos de herramientas que se van a utilizar en el proyecto y explicar la implementación del mismo.

3.1 Integración de herramientas para el diseño del PACS.

A continuación, se detallan las principales herramientas, que se van a utilizar para el diseño e implementación del sistema

3.1.1 Matriz redundante de discos independiente (RAID).

RAID 1 (Espejo): Es un nivel de RAID estándar en configuración de espejo, crea una copia exacta de los datos en dos o más discos, permite una lectura rápida de los datos y alta fiabilidad de respaldo de la información.

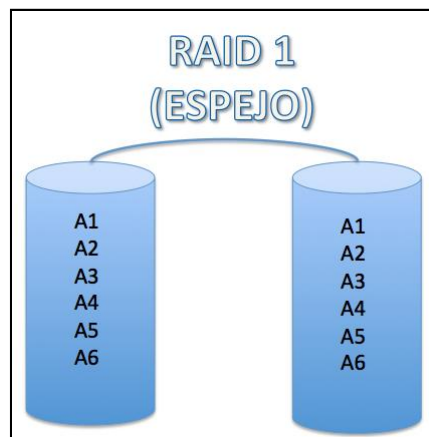


Figura 3.1 RAID nivel 1 [Autores].

3.1.2 Sistema operativo de código abierto.

Linux : Sistema operativo libre, gracias a los sistemas desarrolladas por un gran número de personas y compañías, existen S.O. gratuitos muy eficientes. Su desarrollo puede ser utilizado y distribuido libremente bajo los términos de licencia GPL o licencia pública general.

3.1.3 Base de datos MySQL.

Lenguaje estandarizado más usado para acceder a base de datos, software de fuente abierta, que se puede descargar y usar sin la necesidad de pagar por el licenciamiento.

MySQL, fue desarrollado para acceder a grandes bases de datos, de manera mucho más rápida que las soluciones existentes y ofrece un conjunto de funciones eficientes y poderosas como conectividad, velocidad y seguridad, ha sido usado exitosamente en ambientes de producción con alta demanda.

Características técnicas de MySQL:

- La mejor y más usada base de datos en el mundo.
- Sistema Cliente/Servidor
- Escrito en C y C++
- Clientes C, C++, Eiffel,php,Python,java, Perl, TCL.
- Multiproceso, es decir puede usar varias CPU si éstas están disponibles.
- Puede trabajar en distintas plataformas y S.O. distintos.
- Sistema de contraseñas y privilegios muy flexible y segura.

3.1.4 Tecnología java.

Tecnología de lenguaje de programación, orientado a objetos que son usados para el desarrollo de aplicaciones, que convierten a la Web en un elemento más interesante y útil.

Java permite diseñar software, que pueden ser ejecutados y distribuidos en diferentes sistemas operativos (MAC, Linux, Windows, etc.), ofrece la funcionalidad de un lenguaje potente, que proporciona una gran biblioteca estándar y herramientas para lograr un amplio campo de aplicación y distribución.

3.1.5 Lenguaje php.

El lenguaje php, es un lenguaje de programación de código abierto muy popular para el desarrollo de aplicaciones y páginas web; como principal ventaja, la programación php facilita la conexión, entre los servidores y la interfaz de usuario, tomando todo el código HTML.

3.1.6 Apache.

Servidor web de código abierto, uno de los proyectos de código libre más usados en la actualidad, su función principal es servir las webs alojadas en el servidor a diversos navegadores como Safari, Firefox, Chrome, entre otros, facilitando la fluidez y constancia de la comunicación entre el servidor web y el cliente web.

3.1.7 Estándar DICOM.

El estándar DICOM, se conforma por 18 documentos diseñados para el correcto funcionamiento e interconexión de sistemas destinados, para la creación, almacenamiento, visualización, envío, recuperación, consulta, procesamiento e impresión de imágenes médicas. La aplicación del estándar DICOM, garantiza la integridad de los datos, para que los usuarios accedan a ella bajo las mismas condiciones desde su adquisición, lo cual se puede traducir en un diagnóstico acertado por los especialistas en imagenología y radiología.

3.1.8 Servicios PACS.

Se traduce como un sistema de comunicación, adquisición y archivo de imágenes médicas, es un sistema de almacenamiento digital a largo plazo y distribución de las imágenes radiológicas, a través de la red local dentro de un hospital, las mismas que se descargan y se visualizan por los diferentes especialistas y usuarios del sistema. Está conformado por un diseño de hardware escalable, de acuerdo con los requerimientos de almacenamiento específicos del cliente y un software avanzado, que permite la comunicación DICOM entre las modalidades y las estaciones de diagnóstico; adicionalmente

brinda los servicios de consulta, descarga y visualización web por un aplicativo interno para los usuarios del sistema, que facilita a que los usuarios tengan un herramienta con visor DICOM, incluido en el sistema.

3.2 Criterios de diseño y especificaciones técnicas.

3.2.1 Diagrama de flujo de diseño y desarrollo del sistema.

En la Figura 3.1, se presenta un diagrama de las fases de análisis, diseño, implementación y pruebas de funcionamiento del sistema PACS con aplicaciones para teleradiología.

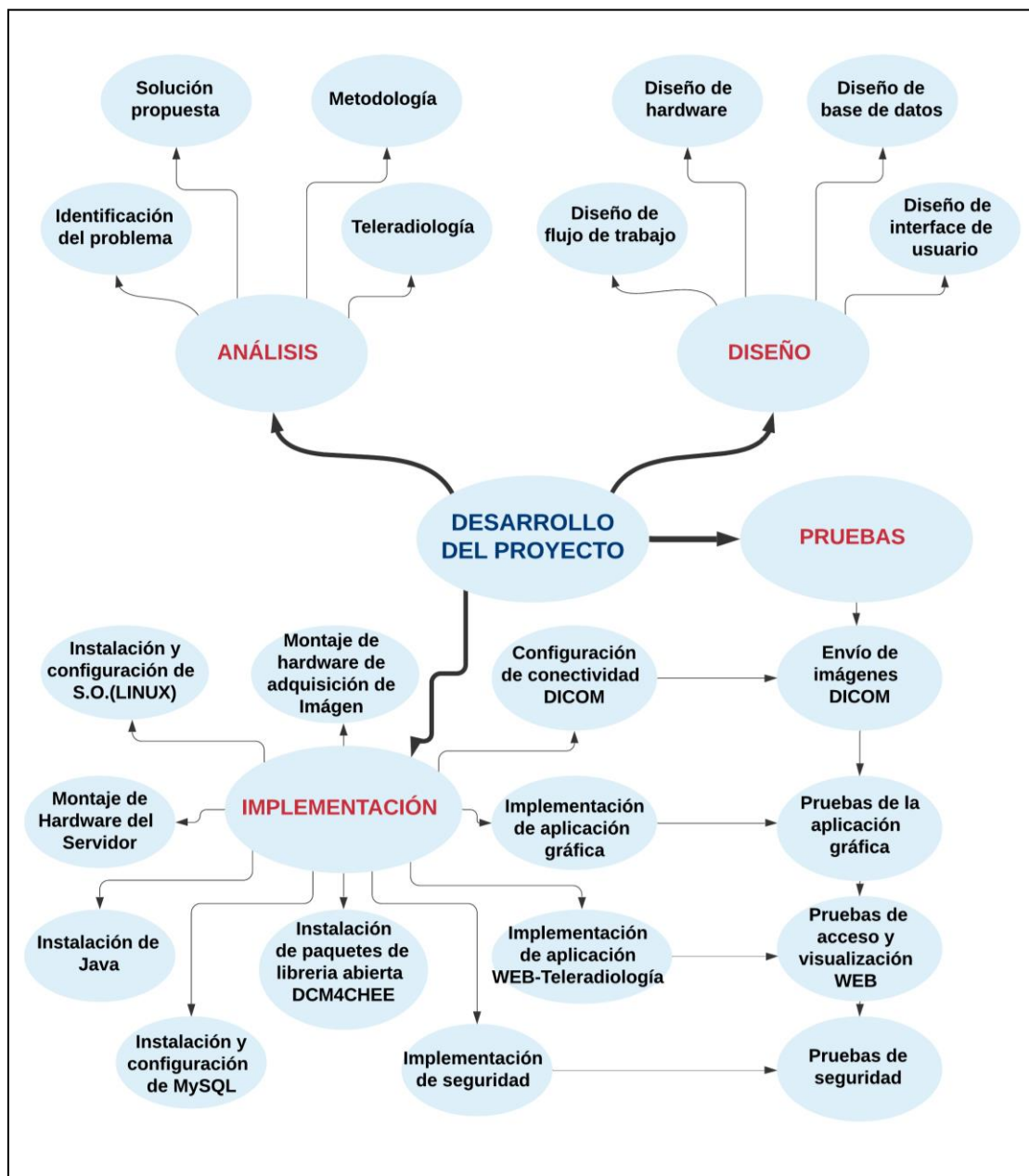


Figura 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo del proyecto [Autores].

3.2.2 Especificaciones del sistema y definición de entidades.

Para el desarrollo e implementación de la solución propuesta, se va a utilizar un sistema de adquisición de imágenes de ultrasonido, sistema al que también lo definimos como modalidad, la imagen del ultrasonido esta en formato DICOM, el archivo al ser digital, puede ser enviado mediante red intranet o internet a un servidor de almacenamiento y distribución de imágenes médicas, al cual lo definimos como PACS, en la Figura 3.2, se puede apreciar sus componentes.

El servidor PACS es el encargado de la recepción, almacenamiento y distribución de las imágenes de ultrasonido y de cualquier otra modalidad que se integre al servidor, que genere y envíe imágenes en formato DICOM.

El almacenamiento del servidor se implementa en un arreglo de discos RAID 1 (espejo), para lo cual se utilizan 2 discos de 500 Gb, donde se crean las particiones, para instalar el sistema operativo y la base de datos de las imágenes médicas. Se utiliza el sistema operativo de libre uso (código abierto), para la implementación del servidor PACS, usamos el sistema operativo Centos 7 y para la base de datos utilizamos también de uso libre MySQL.

Para la implementación de los servicios DICOM, en el servidor se va a usar las librerías de código abierto y de uso libre jboss-4.2.3.GA y dcm4chee-2.18.3-Mysql.

Adicionalmente, se va a instalar en el servidor principal los servicios de visualización web, con una interfaz cliente – servidor para el acceso visual de las imágenes médicas, para lo cual instalamos java, servidor web de código abierto Apache y se utiliza lenguaje de programación php.

Con la implementación planteada, se pueden visualizar las imágenes médicas de manera remota por un especialista en radiología o imagenología con la finalidad de interpretar y diagnosticar mediante una conexión segura de internet por ejemplo una conexión VNP.

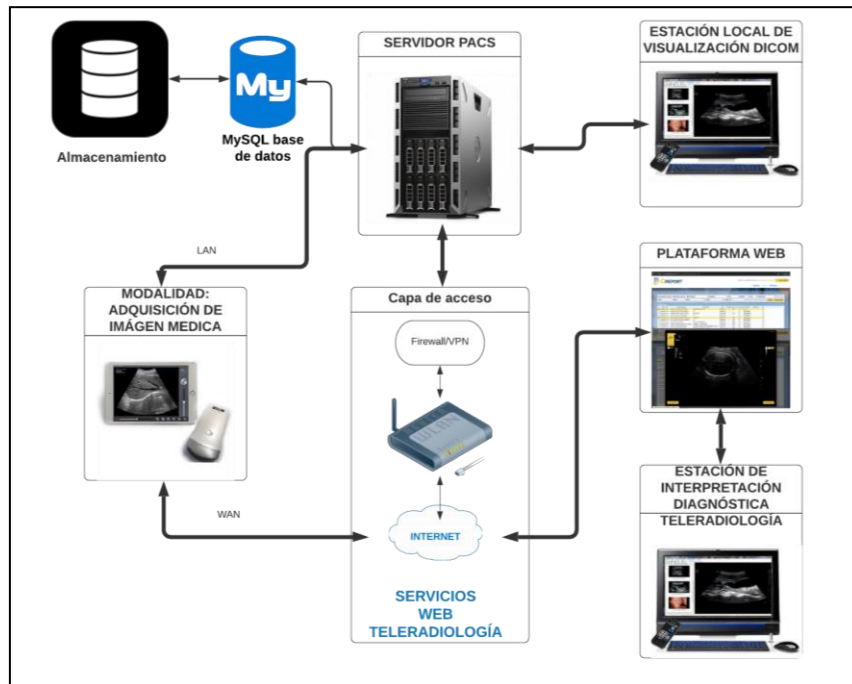


Figura 3.2 Componentes principales del PACS y Teleradiología [Autores].

3.2.3 Especificaciones de los componentes del sistema.

3.2.3.1 Sistema de adquisición de imágenes de ultrasonido (Modalidad).

- Transductor portable con batería.
- Software a base de aplicación para PC, Tablet, Teléfono celular.
- Conectividad WIFI.
- Conectividad DICOM.



Figura 3.3 Sistema portable de ultrasonido [Autores].

3.2.3.2 Servidor de almacenamiento y distribución de imágenes PACS.

- Servidor tipo torre Marca DELL.
- Modelo Sysstem X3200 M3.
- Intel Xeon X3430 2.4 Ghz.
- Memoria RAM 8 Gb.
- Almacenamiento 2 discoss duros 500 Gb en RAID 1.

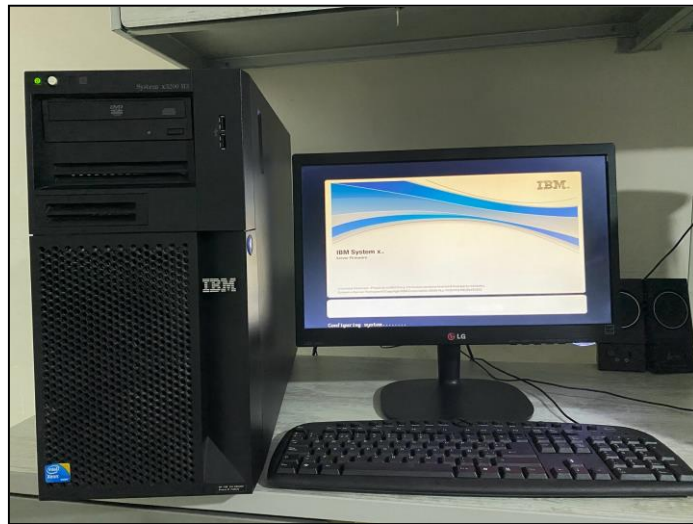


Figura 3.4 Servidor PACS [Autores].

3.2.3.3 Cliente / Usuario: estación de visualización web (PC: mínimo requerimiento)

- Procesador dual core.
- Sistema operativo Multiplataforma.
- Java.

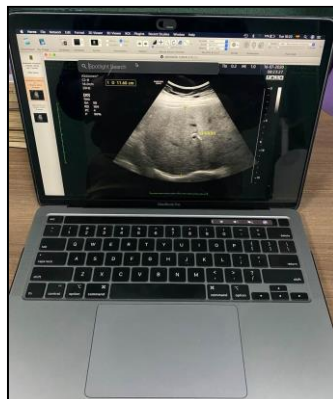


Figura 3.5 Servidor PACS [Autores].

3.3 Implementación del sistema propuesto.

3.3.1 Configuración del servidor PACS.

Para la implementación del servidor PACS, se crea un arreglo de discos RAID 1 (espejo), para lo cual utilizamos dos discos de la misma capacidad 500 Gb, en la Figura 3.6, se puede apreciar la configuración de los discos duros en la tarjeta madre del servidor.

```

LSI Corp Config Utility      v6.30.00.00 (2009.11.12)
View Array -- SAS1064E
Array                        1 of 1
Identifier                   LSILogical Volume 3000
Type                         IM
Scan Order                   1
Size(MB)                     476837
Status                       Optimal

Manage Array

Slot Num  Device Identifier      RAID  Hot  Drive  Pred  Size
          Num                   Disk Spr Status Fail (MB)
0        ATA   ST3500514NS  BB28 Yes  No    Primary No  476837
1        ATA   ST3500514NS  BB28 Yes  No    Secondary No  476837

Esc = Exit Menu      F1/Shift+1 = Help
Enter=Select Item  Alt+N=Next Array  C=Create an array  R=Refresh Display
  
```

Figura 3.6 Verificación de configuración del RAID 1 [Autores].

3.3.2 Instalación de sistema operativo de código abierto.

Se comienza con la instalación de sistema operativo Centos 7

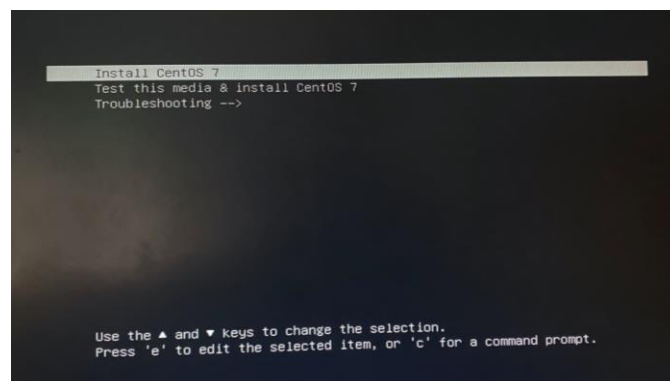


Figura 3.7 Sistema operativo Centos 7 [Autores].

Una vez, que el sistema esta instalado, se procede a configurar los usuarios con diferentes perfiles de seguridad com se puede apreciar en la siguiente Figura.

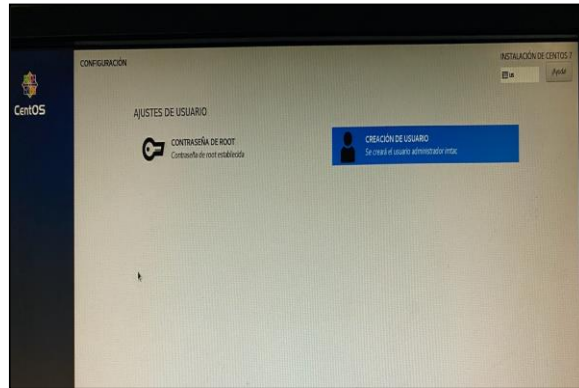


Figura 3.8 Configuración de usuarios [Autores].

Se define como usuario administrador

Usuario : **pacsdidactico**

Contraseña : **pacsdidactico.**

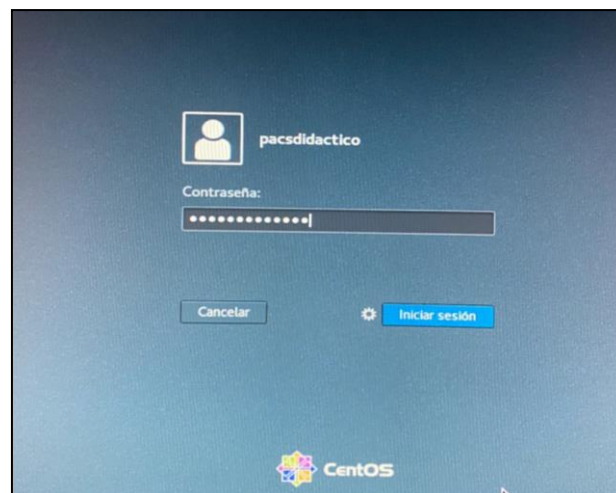


Figura 3.9 Configuración de usuarios [Autores].

Se configura la conexión de red para acceder a internet y descargar los paquetes de información.

Se descarga los paquetes de librería abierta y archivos instaladores jboss-4.2.3.GA y dcm4chee-2.18.3-mysql.

Se crea una carpeta (ejemplo: app) en el directorio principal.

Se copia en la carpeta app los archivos instaladores y de configuración jboss-4.2.3.GA y dcm4chee-2.18.3-mysql, como se muestra en la siguiente Figura.

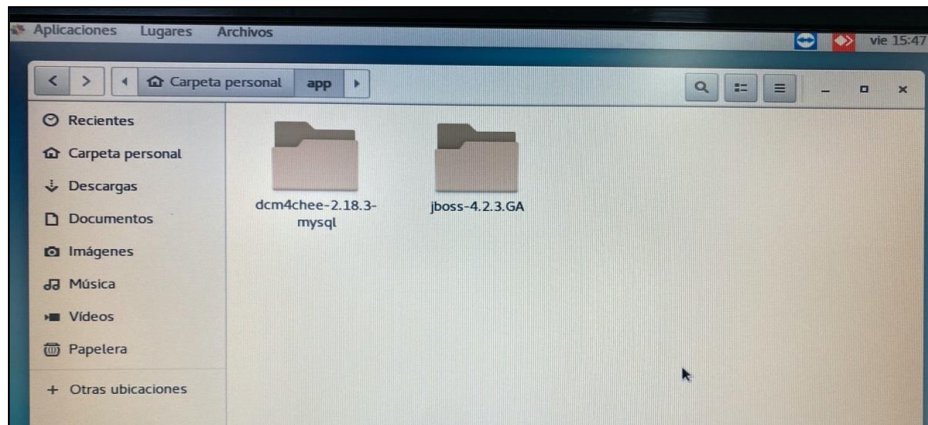


Figura 3.10 Carpetas de los instaladores [Autores].

3.3.3 Instalación de java.

Con la línea de comando **yum -y install java-1.7.0 – openjdk** se descarga y se instala java.

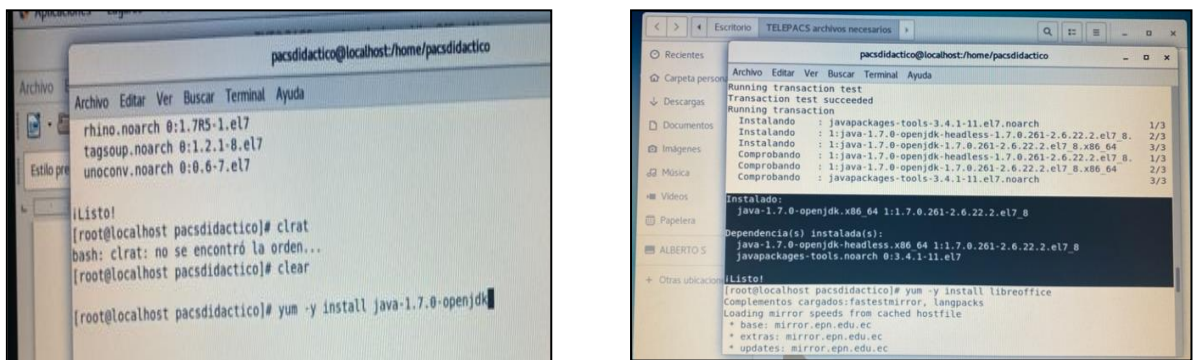


Figura 3.11 Proceso de instalación java [Autores].

3.3.4 Instalación de base de datos de código abierto.

Para la implementación de la base de datos utilizamos MySQL de código abierto y libre de pago, a continuación se muestran los pasos de la instalación de MySQL en Centos 7.

- En primer lugar, se debe instalar el repositorio para la base de datos MySQL para lo cual se ejecuta en una ventana terminal la línea de comando: **sudo yum localinstall /home/pacsdidactico/mysql57-community-release-el7-9.noarch.rpm**, se puede apreciar la sentencia en la siguiente Figura.


```

[pcsdidactico@PACS ~]$ su
Contraseña:
[root@PACS pcsdidactico]# sudo yum localinstall '/home/pcsdidactico/mysql57-co
munity-release-el7-9.noarch.rpm'
Complementos cargados:fastestmirror, langpacks
Examinando /home/pcsdidactico/mysql57-community-release-el7-9.noarch.rpm: mysql
57-community-release-el7-9.noarch
Marcando /home/pcsdidactico/mysql57-community-release-el7-9.noarch.rpm para ser
instalado
Resolviendo dependencias
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mysql57-community-release.noarch 0:el7-9 debe ser instalado
--> Resolución de dependencias finalizada

Dependencias resueltas

=====
Package                Arquitectura Versión                Repositorio                Tamaño
=====
Instalando:
mysql57-community-release
noarch el7-9 /mysql57-community-release-el7-9.noarch 8.6 k

```

Figura 3.12 Proceso de instalación del repositorio de la base de datos MySQL [Autores].

- Siguiente paso, se instala la base de datos MySQL, se ejecuta en el terminal la línea de comando : **yum -y install mysql-community-server**, la clave para administración de la base da datos MySQL es : Pacs.2020!

```

[pcsdidactico@PACS ~]$ su
Contraseña:
[root@PACS pcsdidactico]# yum -y install mysql-community-server
Complementos cargados:fastestmirror, langpacks
Loading mirror speeds from cached hostfile
* base: mirror.epn.edu.ec
* extras: mirror.epn.edu.ec
* updates: mirror.epn.edu.ec
Resolviendo dependencias
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mysql-community-server.x86_64 0:5.7.32-1.el7 debe ser instalado
--> Procesando dependencias: mysql-community-common(x86-64) = 5.7.32-1.el7 para
el paquete: mysql-community-server-5.7.32-1.el7.x86_64
--> Procesando dependencias: mysql-community-client(x86-64) >= 5.7.9 para el paq
uete: mysql-community-server-5.7.32-1.el7.x86_64
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mysql-community-client.x86_64 0:5.7.32-1.el7 debe ser instalado
--> Procesando dependencias: mysql-community-libs(x86-64) >= 5.7.9 para el paque
te: mysql-community-client-5.7.32-1.el7.x86_64
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mariadb-libs.x86_64 1:5.5.65-1.el7 debe ser obsoleto
--> Procesando dependencias: libmysqlclient.so.18()(64bit) para el paquete: 2:po
stfix-2.10.1-9.el7.x86_64
--> Procesando dependencias: libmysqlclient.so.18(libmysqlclient 18)(64bit) para

```

Figura 3.13 Proceso de instalación de base de datos MySQL [Autores].

```

[pcsdidactico@PACS ~]$ su
Contraseña:
[root@PACS pcsdidactico]# yum -y install mysql-community-server
Complementos cargados:fastestmirror, langpacks
Loading mirror speeds from cached hostfile
* base: mirror.epn.edu.ec
* extras: mirror.epn.edu.ec
* updates: mirror.epn.edu.ec
Resolviendo dependencias
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mysql-community-server.x86_64 0:5.7.32-1.el7 debe ser instalado
--> Procesando dependencias: mysql-community-common(x86-64) = 5.7.32-1.el7 para
el paquete: mysql-community-server-5.7.32-1.el7.x86_64
--> Procesando dependencias: mysql-community-client(x86-64) >= 5.7.9 para el paq
uete: mysql-community-server-5.7.32-1.el7.x86_64
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mysql-community-client.x86_64 0:5.7.32-1.el7 debe ser instalado
--> Procesando dependencias: mysql-community-libs(x86-64) >= 5.7.9 para el paque
te: mysql-community-client-5.7.32-1.el7.x86_64
--> Ejecutando prueba de transacción
--> Paquete mariadb-libs.x86_64 1:5.5.65-1.el7 debe ser obsoleto
--> Procesando dependencias: libmysqlclient.so.18()(64bit) para el paquete: 2:po
stfix-2.10.1-9.el7.x86_64
--> Procesando dependencias: libmysqlclient.so.18(libmysqlclient 18)(64bit) para

Instalando : mysql-community-server-5.7.32-1.el7.x86_64 4/6
Instalando : mysql-community-libs-compat-5.7.32-1.el7.x86_64 5/6
Eliminando : 1:mariadb-libs-5.5.65-1.el7.x86_64 6/6
Comprobando : mysql-community-client-5.7.32-1.el7.x86_64 1/6
Comprobando : mysql-community-libs-compat-5.7.32-1.el7.x86_64 2/6
Comprobando : mysql-community-libs-5.7.32-1.el7.x86_64 3/6
Comprobando : mysql-community-server-5.7.32-1.el7.x86_64 4/6
Comprobando : mysql-community-common-5.7.32-1.el7.x86_64 5/6
Comprobando : 1:mariadb-libs-5.5.65-1.el7.x86_64 6/6

Instalado:
mysql-community-libs.x86_64 0:5.7.32-1.el7
mysql-community-libs-compat.x86_64 0:5.7.32-1.el7
mysql-community-server.x86_64 0:5.7.32-1.el7

Dependencia(s) instalada(s):
mysql-community-client.x86_64 0:5.7.32-1.el7
mysql-community-common.x86_64 0:5.7.32-1.el7

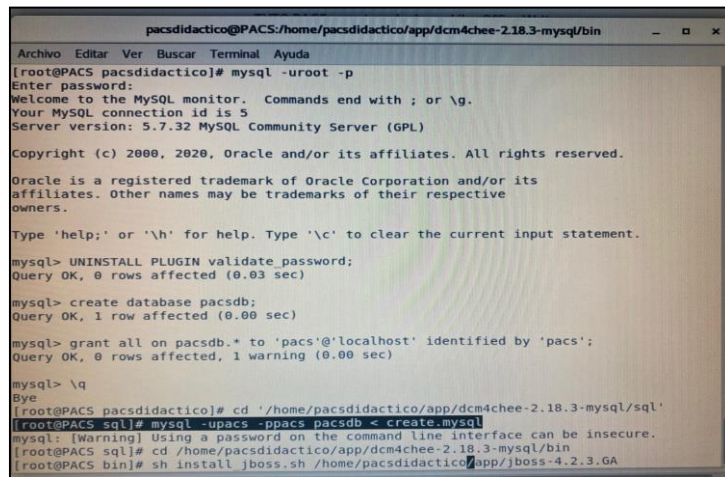
Sustituido(s):
mariadb-libs.x86_64 1:5.5.65-1.el7

¡Listo!

```

Figura 3.14 Resumen de la instalación de la base da datos MySQL.

- Finalmente, se realiza la creación de las tablas y usuarios de base de datos, nombre de tabla para el presente proyecto es **pacsddb**.



```

pacsdidactico@PACS:/home/pacsdidactico/app/dcm4chee-2.18.3-mysql/bin
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
[root@PACS pacsdidactico]# mysql -uroot -p
Enter password:
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 5
Server version: 5.7.32 MySQL Community Server (GPL)

Copyright (c) 2000, 2020, Oracle and/or its affiliates. All rights reserved.

Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql> UNINSTALL PLUGIN validate_password;
Query OK, 0 rows affected (0.03 sec)

mysql> create database pacsddb;
Query OK, 1 row affected (0.00 sec)

mysql> grant all on pacsddb.* to 'pacs'@'localhost' identified by 'pacs';
Query OK, 0 rows affected, 1 warning (0.00 sec)

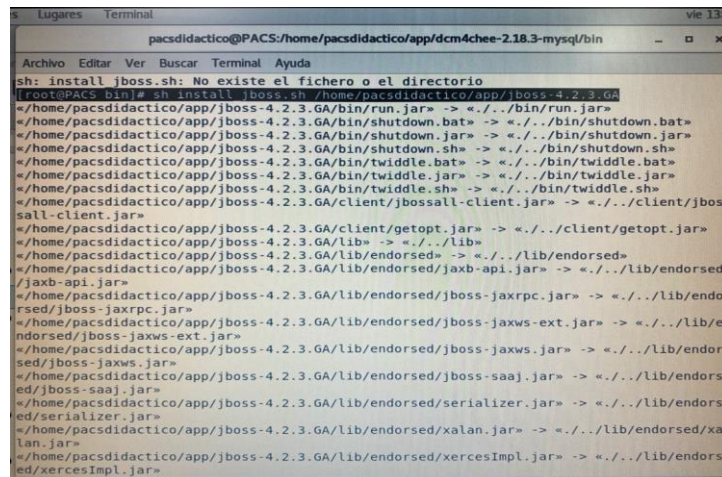
mysql> \q
Bye
[root@PACS pacsdidactico]# cd '/home/pacsdidactico/app/dcm4chee-2.18.3-mysql/sql'
[root@PACS sql]# mysql -u pacs -ppacs pacsddb < create.mysql
mysql: [Warning] Using a password on the command line interface can be insecure.
[root@PACS sql]# cd /home/pacsdidactico/app/dcm4chee-2.18.3-mysql/bin
[root@PACS bin]# sh install jboss.sh /home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA

```

Figura 3.15 Creación de tablas y acceso general a la base de datos MySQL.

3.3.5 Configuración de los servicios DICOM

- Para la instalación del motor de integración jboss-4.2.3.GA de los servicios DICOM del PACS, se ejecuta en la consola terminal el siguiente comando: **sh install jboss.sh /home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA**.



```

s Lugares Terminal
pacsdidactico@PACS:/home/pacsdidactico/app/dcm4chee-2.18.3-mysql/bin
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
sh: install jboss.sh: No existe el fichero o el directorio
[root@PACS bin]# sh install jboss.sh /home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/run.jar» -> «././bin/run.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/shutdown.bat» -> «././bin/shutdown.bat»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/shutdown.jar» -> «././bin/shutdown.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/shutdown.sh» -> «././bin/shutdown.sh»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/twiddle.bat» -> «././bin/twiddle.bat»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/twiddle.jar» -> «././bin/twiddle.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/bin/twiddle.sh» -> «././bin/twiddle.sh»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/client/jbossall-client.jar» -> «././client/jbos
sall-client.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/client/getopt.jar» -> «././client/getopt.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib» -> «././lib»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed» -> «././lib/endorsed»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/jaxb-api.jar» -> «././lib/endors
ed/jaxb-api.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/jboss-jaxrpc.jar» -> «././lib/endo
rsed/jboss-jaxrpc.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/jboss-jaxws-ext.jar» -> «././lib/e
ndorsed/jboss-jaxws-ext.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/jboss-jaxws.jar» -> «././lib/endor
sed/jboss-jaxws.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/jboss-saaj.jar» -> «././lib/endors
ed/jboss-saaj.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/serializer.jar» -> «././lib/endors
ed/serializer.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/xalan.jar» -> «././lib/endorsed/xa
lan.jar»
«/home/pacsdidactico/app/jboss-4.2.3.GA/lib/endorsed/xercesImpl.jar» -> «././lib/endors
ed/xercesImpl.jar»

```

Figura 3.16 Instalación del motor de integración jboss-4.2.3 [Autores].

- Se deshabilita el firewall, para prevenir bloqueo de puertos de comunicación de servicios DICOM. Ejecutamos en la consola de terminal las líneas de comando: **stop firewall** luego **disable firewall**.
- Se reinicia el servidor PACS.

- Se inicializa manualmente los servicios del PACS, accediendo al repositorio `app/dcm4chee-2.18.3-mysql/bin` y se ejecuta en la consola del terminal el siguiente comando: **sh run.sh**.

3.3.6 Configuración de los parámetros AE Title del nombre del Servidor PACS.

- Se procede a ejecutar la consola web JBoss de administración de los servicios y configuraciones DICOM del PACS, mediante el uso de un explorador web acceder a la dirección local URL: **localhost:8080**, como se muestra en la siguiente Figura.



Figura 3.17 Consola web de administración de los servicios DICOM [Autores].

- Se ingresa a la ruta de configuración y se actualiza el nombre DICOM de la entidad PACS (**AE Title**), en la consola web jboss, para el presente trabajo se asignó el nombre: **PACSESPOL**.

dcm4chee.archive

- `group=LOSSY_STORAGE.service=FileSystemMgt`
- `group=NEARLINE_STORAGE.service=FileSystemMgt`
- `group=ONLINE_STORAGE.service=FileSystemMgt`
- `name=AttributesModificationScu.service=Queue`
- `name=DeleteStudy.service=Queue`
- `name=ExportManager.service=Queue`
- `name=FileCopy.service=Queue`
- `name=FileMove.service=Queue`
- `name=HL7Send.service=Queue`
- `name=IANScu.service=Queue`
- `name=MCMScu.service=Queue`
- `name=MPPScu.service=Queue`
- `name=MoveScu.service=Queue`
- `name=PPSExceptionMgt.service=Queue`
- `name=PPScu.service=Queue`
- `name=Prefetch.service=Queue`
- `name=RejectionNoteStored.service=Queue`
- `name=Sendmail.service=Queue`
- `name=StgCmtScuScp.service=Queue`
- `name=StudyMgtScu.service=Queue`
- `name=UPSScp.service=Queue`
- `name=UpgradeToEnhancedMF.service=Queue`
- `name=WadoPrefetch.service=Queue`
- `service=AE`
- `service=AttributesModificationScp`
- `service=AttributesModificationScu`
- `service=AuditLogger`
- `service=CompressionService`

Remove AE Configuration

Param	ParamType	ParamValue	ParamDescription
aet	java.lang.String	<input type="text"/>	AET

Invoke

void updateAETitle()

Update specified AE Title to new value in AE Configuration and in all service attributes associated with file systems, also the Retrieve AE Title of these file systems is updated that have files on this file systems.

Param	ParamType	ParamValue	ParamDescription
prevAET	java.lang.String	DCMCHEE4	AE Title to update.
newAET	java.lang.String	PACSESPOL	new AE Title.

Invoke

void notifyAETchange()

Sends an AetChanged notification

Param	ParamType	ParamValue	ParamDescription
oldTitle	java.lang.String	<input type="text"/>	The old AE Title.
newTitle	java.lang.String	<input type="text"/>	The new AE Title.
message	java.lang.String	<input type="text"/>	An optional message.

Invoke

Figura 3.18 Consola de configuración de DICOM AE Title del PACS [Autores].

3.3.7 Implementación de aplicación gráfica en el servidor base.

- Se accede a la consola web de base de datos y administración de PACS, mediante el uso de un explorador web acceder a la dirección local URL: **localhost:8080/pacs-esp/**

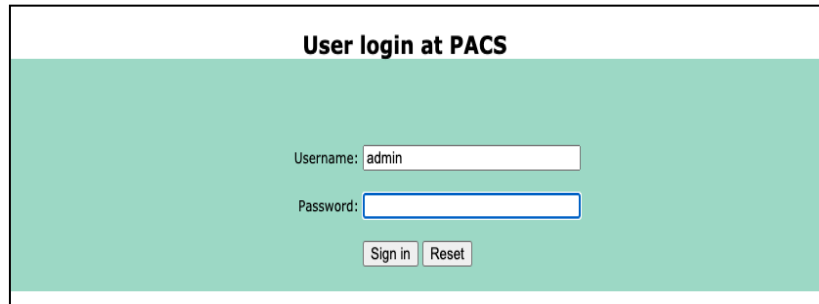


Figura 3.19 Consola web y administración del PACS [Autores].

- Se debe actualizar la clave de acceso, por defecto después de la instalación se puede ingresar a la consola de configuración con:
username: admin Password: admin.
Una vez ingresado a la configuración, en la pestaña de password, se actualiza la nueva contraseña, para el presente trabajo, se asigna:
username : admin, Password : Pacs.2020!
- Finalmente, se debe realizar la prueba de comunicación local DICOM ECHO, como se muestra en la Figura 3.20, para verificar que los servicios DICOM se encuentran en ejecución. En la consola web de administración del PACS se accede al menú Application Entities y verificar la comunicación DICOM del servicio local **PACSESPOL**.

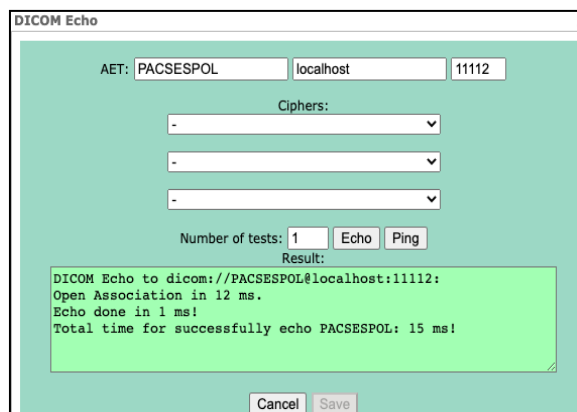


Figura 3.20 Prueba de comunicación DICOM del sistema PACS [Autores].

3.3.8 Instalación de aplicación de visualización Web Cliente-Servidor.

- Descargar las librerías de código abierto weasis.war, weasis-ext.war y weasis-pacs-connector.war. y copiar las librerías de código abierto previamente descargadas en la ruta: app/dcm4chee-2.18.3 – mysql/server/default/deploy, como se muestra en la siguiente Figura.

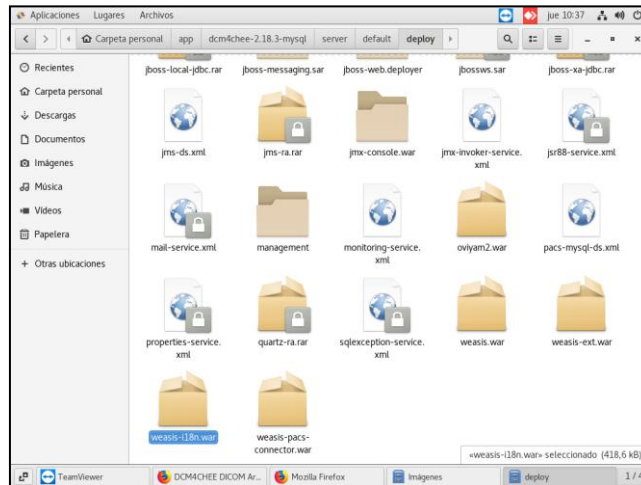


Figura 3.21 Ruta donde se copian las librerías para visor web [Autores].

- Se procede a la instalación de Visor DICOM de código abierto **weasis**, en la consola web JBoss de administración de los servicios DICOM del PACS se accede al servicio DICOM **WebConfig**.
- En la consola Web Jboss de servicios DICOM, en el campo WebviewerNames, declaramos el nombre del visor weasis

List of MBean attributes:				
Name	Type	Access	Value	
WebConfigPath	java.lang.String	RW	conf/dcm4chee-web3/	Configuration Path for web specific A relative path name is resolved directory/server/default/.
dicomSecurityServletUrl	java.lang.String	RW	http://localhost:8080/dcm	URL for the dicom security service
WadoBaseURL	java.lang.String	RW	NONE	WADO Base URL if WADO Service NONE: WADO service is in same
RIDBaseURL	java.lang.String	RW	NONE	Retrieve Information for Display container. NONE: RID service is in same container
arrURL	java.lang.String	RW	http://localhost:8080/dcm	URL for the location of the Audit used to retrieve and display entries
InstalledWebViewer	java.lang.String	R	weasis	Name(s) of installed WebViewer.
WebviewerNames	java.lang.String	RW	weasis	Name(s) of WebViewer that is used If more than one name is configured these WebViewers. NONE: Do not show WebViewer I ANY: All installed WebViewers.
WebviewerBaseUrls	java.lang.String	RW	weasis:/weasis-pacs-connector/weasis	Base URLs to open WebViewer service Format: <webviewer name>:<base URL> NONE: All webviewer use their default

Figura 3.22 Ruta del visor local web [Autores].

En este punto el servidor PACS ya está configurado y listo para que puede recibir imágenes de las modalidades, y puedan acceder diferentes usuarios para visualizar los estudios por medio del Visor local weasis.

3.3.9 Implementación de servicios de consulta remota Web para aplicación de teleradiología.

Una vez que el sistema PACS, este correctamente funcionando, se requiere la visualización web de las imágenes radiológicas, por lo que se implementa un servicio web, para esta implementación se utiliza Apache y lenguaje de programación php, a continuación se detalla procedimiento.

- Hacer login como superusuario, abrir la aplicación **terminal** y escribir: **su**, luego ingresar la contraseña: **pacsdidactico**.

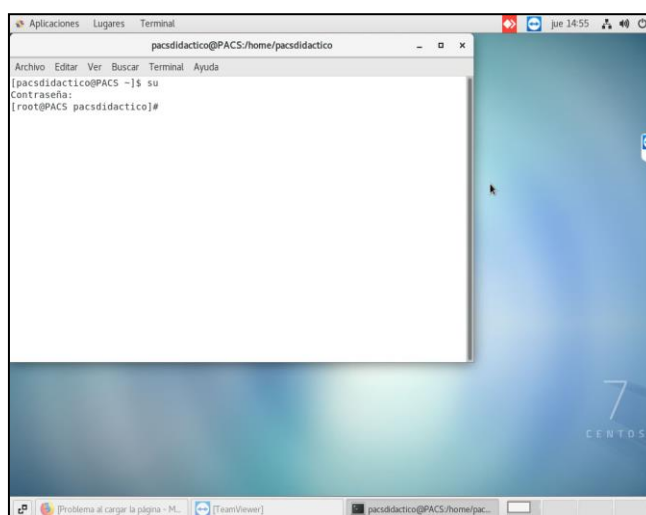


Figura 3.23 Panel de ingreso [Autores].

- Instalación de servidor apache con el siguiente comando: **yum -y install httpd**.
- Instalación php y componente php-Mysql escribir el siguiente comando: **yum -y install php php-mysql**.
- Iniciar Apache con el siguiente comando: **apachectl start**.
- Editar: gedit en el directorio /etc/php.ini
- short_open_tag a on (para aceptar en el código fuente llamadas sin <?php
- error_reporting comentar con ; delante (para evitar mostrar mensajes de error al usuario)
- En el directorio; /etc/httpd/conf, editar httpd.conf.

- Agregar en “DirectoryIndex index.html” **login.php**
- En <Directory "/var/www/html"> Options Indexes FollowSymLinks, quitar indexes y eliminar **indexes** para que no se pueda ver el contenido de la carpeta con el código de la página.

```

# Relax access to content within /var/www.
#
<Directory "/var/www">
    AllowOverride None
    # Allow open access:
    Require all granted
</Directory>

# Further relax access to the default document root:
<Directory "/var/www/html">
    #
    # Possible values for the Options directive are "None", "All",
    # or any combination of:
    #   Indexes Includes FollowSymLinks SymLinksifOwnerMatch ExecCGI MultiViews
    #
    # Note that "MultiViews" must be named *explicitly* --- "Options All"
    # doesn't give it to you.
    #
    # The Options directive is both complicated and important. Please see
    # http://httpd.apache.org/docs/2.4/mod/core.html#options
    # for more information.
    #
    Options [Indexes FollowSymLinks

    #
    # AllowOverride controls what directives may be placed in .htaccess files.
    # It can be "All", "None", or any combination of the keywords:
    #   Options FileInfo AuthConfig Limit
    #
    AllowOverride None

    #
    # Controls who can get stuff from this server.
    #
    Require all granted

```

Figura 3.24 Ruta de instalación [Autores].

- Se realiza el autorranque Apache: **chkconfig httpd on.**
- Se reinicia el sistema **systemctl restart httpd** (provocamos un reinicio)
- Se ingresa a la consola de Mysql con el comando: **mysql.**
- Dentro de la consola, se procede a crear la tabla de base de datos “**test**”.
- Una vez que esta creada la nueva base de datos, se definen las tablas necesarias para la gestión de usuarios mediante los siguientes comandos:
 - **SET SQL_MODE = "NO_AUTO_VALUE_ON_ZERO";**
 - **SET time_zone = "+00:00";**
 - **/*!40101 SET @OLD_CHARACTER_SET_CLIENT=@@CHARACTER_SET_CLIENT*;**
 - **/*!40101 SET @OLD_CHARACTER_SET_RESULTS=@@CHARACTER_SET_RESULTS*;**

```

• /*!40101                                     SET
@OLD_COLLATION_CONNECTION=@@COLLATION_CONNECTIO
N */;
• /*!40101 SET NAMES utf8 */;
• --
• -- Database: `test`
• -- Table structure for table `user`
• CREATE TABLE IF NOT EXISTS `user` (
•   `id` int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
•   `username` varchar(255) NOT NULL,
•   `email` varchar(255) NOT NULL,
•   `password` varchar(255) NOT NULL,
•   `active` tinyint(1) NOT NULL,
•   PRIMARY KEY (`id`),
•   UNIQUE KEY `username` (`username`)
• ) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=latin1
AUTO_INCREMENT=5 ;
• -- Dumping data for table `user`
• INSERT INTO `user` (`id`, `username`, `email`, `password`,
`active`) VALUES
• (1, 'test', '', 'password', 0);
•
• INSERT INTO `user` (`id`, `username`, `email`, `password`,
`active`) VALUES
• (2, 'medico', '', 'medico', 0);
•
• INSERT INTO `user` (`id`, `username`, `email`, `password`,
`active`) VALUES
• (3, 'doctor', '', 'doctor', 0);
• /*!40101                                     SET
CHARACTER_SET_CLIENT=@@OLD_CHARACTER_SET_CLIENT */;

```



```

• /*!40101 SET
CHARACTER_SET_RESULTS=@OLD_CHARACTER_SET_RESULT
S */;

```

```

• /*!40101 SET
COLLATION_CONNECTION=@OLD_COLLATION_CONNECTION */;

```

- Se accede a la base de datos **pacddb**.

- Se crea la vista que nos permitirá visualizar los estudios almacenados

```

CREATE VIEW vista_master AS select s.pk AS pk,
s.study_iuid AS study_iuid,
s.study_id AS study_id,
s.accession_no AS accession_no,
s.study_desc AS study_desc,
s.mods_in_study
AS mods_in_study,date_format(s.study_datetime, '%Y-%m-%d %H:%i')
AS study_fecha hora,s.study_datetime
AS study_datetime,p.pat_id
AS pat_id,replace(p.pat_name,'^',' ')
AS patient_name,p.pat_sex
AS pat_sex,p.pat_birthdate
AS pat_birthdate,s.num_series
AS num_series,s.num_instances
AS num_instances,'192.168.2.209'
AS servidor from (study s join patient p ON ((s.patient_fk = p.pk)));

```

- Se descomprimen los archivos de la aplicación Web de acceso al PACS.

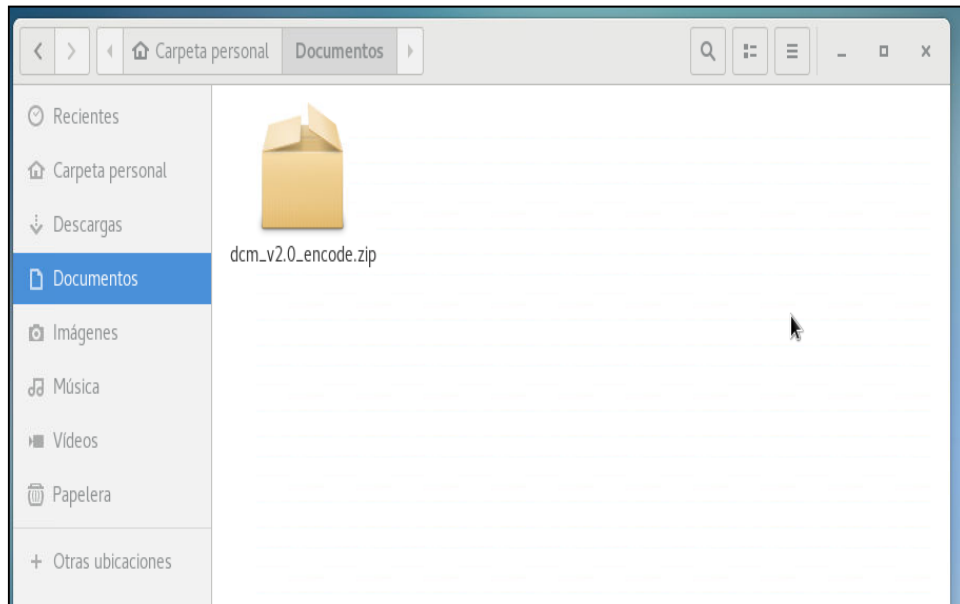


Figura 3.25 Directorio de acceso web [Autores].

- Una vez que el archivo está descomprimido, se copia los mismos al directorio `/var/www/html`.

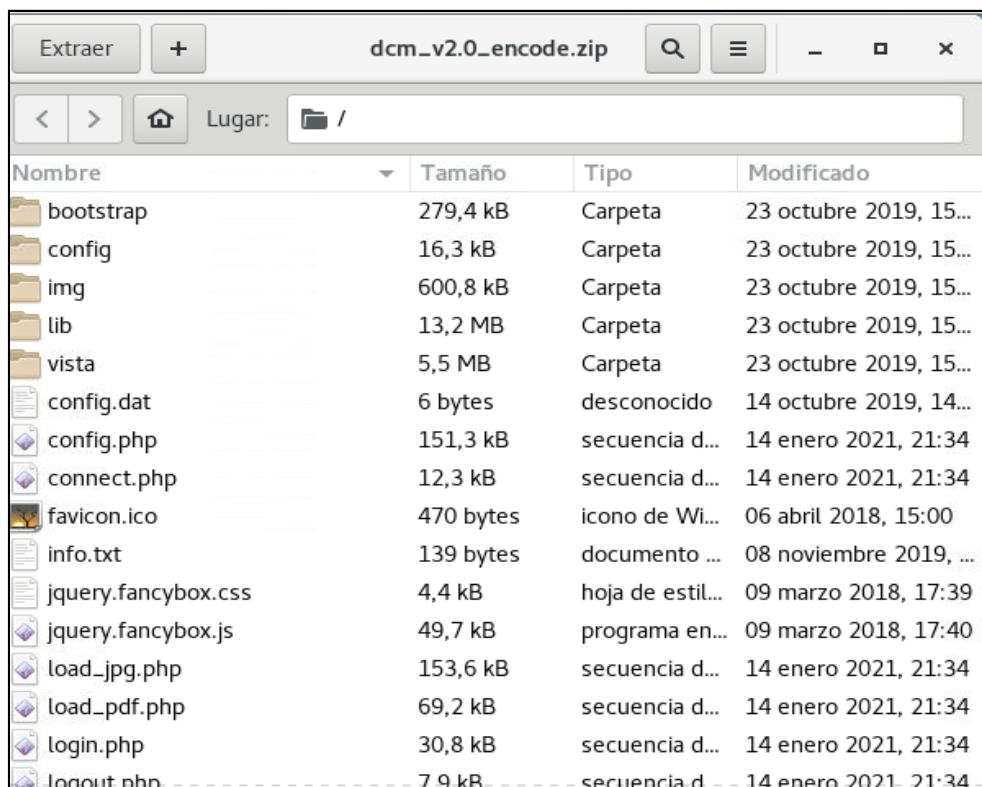


Figura 3.26 Archivos generados en la aplicación web [Autores].

- Se accede mediante navegador web a la dirección “localhost”
- Descargamos la librería necesaria y la copiamos en **/usr/lib64/php/modules.**

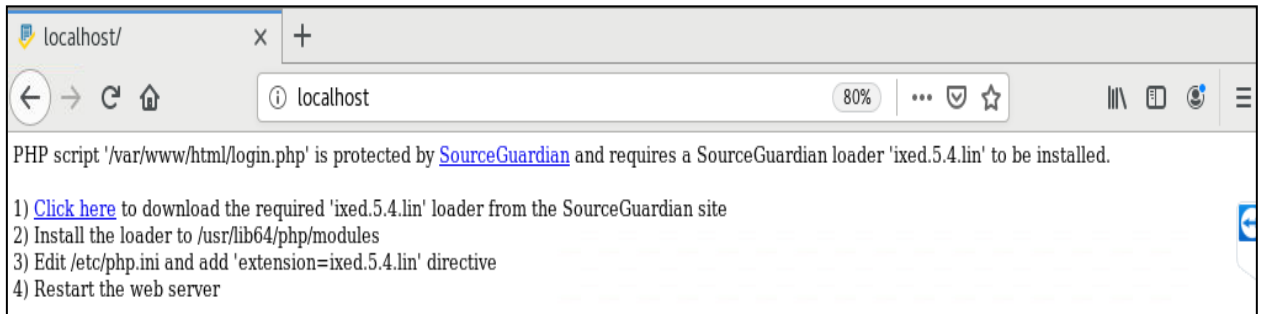


Figura 3.27 Ruta de descarga de librerías [Autores].

- Se reinicia apache: **systemctl restart httpd.**
- Se accede mediante navegador web a la url: **http://localhost.**

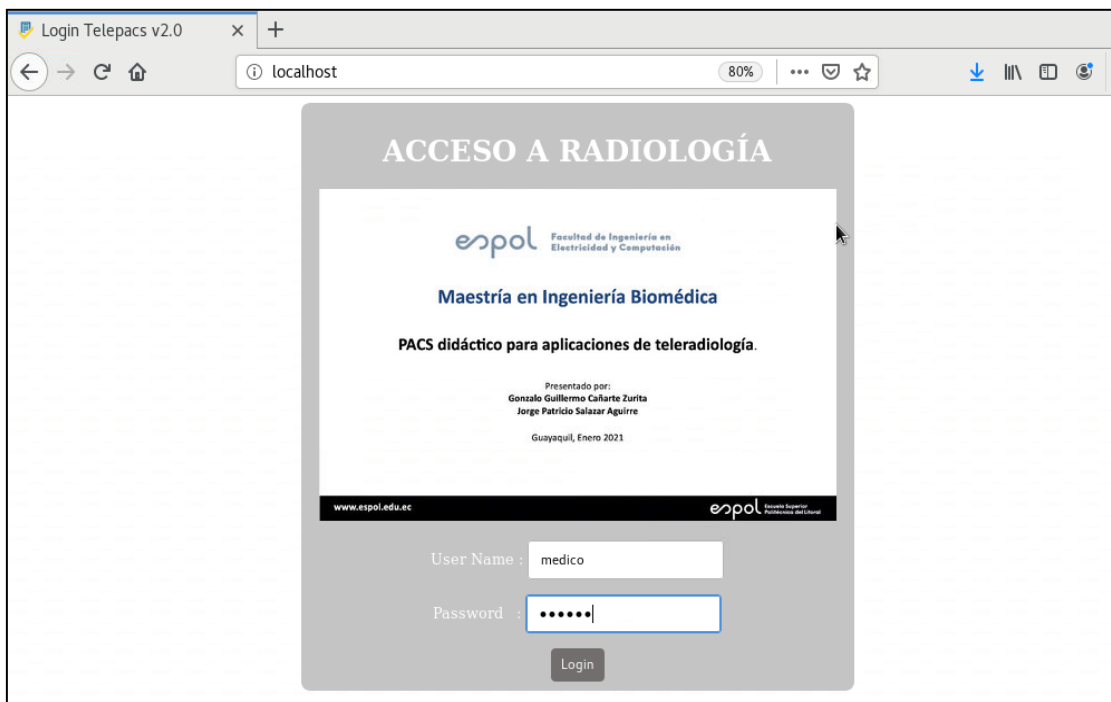



Figura 3.28 Menú principal de la visualización web [Autores].

- Para ingresar a la lista de pacientes se definió el siguientes parámetros:
Usuario : medico
Contraseña : medico

- En la siguiente Figura, se puede acceder a la página de búsqueda y visualización de pacientes.



ID Paciente	Paciente	Accession	Modalidad	Descripción	Fecha Estudio	Visores
0917355844	PACIENTE 1	217938939	US	ECOGRAFIA-OSTEOMUSCULAR	04-01-2021 11:20	JPEG DICOM-APP HTML5
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		JPEG DICOM-APP HTML5
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		JPEG DICOM-APP HTML5
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		JPEG DICOM-APP HTML5

Figura 3.29 Lista de pacientes con la aplicación web [Autores].

3.3.10 Integración de dispositivo portable de adquisición de imágenes de ultrasonido.

- Se configura la conexión wifi-directa, entre el transductor de ultrasonido portable y el dispositivo ipad; el software se encuentra instalado previamente mediante la aplicación libre.



Figura 3.30 Configuración del transductor en el ipad [Autores].

- Una vez que la conexión esta lista, aparece la imagen del ultrasonido en la pantalla del ipad, en la siguiente Figura se puede apreciar una imagen ecográfica del hígado.



Figura 3.31 Adquisición de imagen de ultrasonido [Autores].

- Para que la modalidad se comunice con el sistema PACS, se debe gestionar y configurar los parametros DICOM en el menú de la modalidad (ultrasonido), se configuran los tres parámetros principales para establecer una comunicación:
 - AE Title: nombre DICOM del servidor de destino, PACSESPOL
 - Host name: dirección ip del servidor de destino.
 - Puerto de comunicación: 1112.



Figura 3.32 Menú de configuración del PACS en la modalidad [Autores].

3.3 Costos del proyecto.

Descripción	Valor en dólares
Servidor IBM	\$ 900
Discos duros 500 Gb	\$ 350
Sistema operativo Centos 7	Software libre
Sistema y librerías PACS	Software Libre

Tabla 3.1 Costo del proyecto PACS [Autores].

Es evidente, que el costo del hardware y almacenamiento, determinan que el sistema sea robusto y pueda almacenar más pacientes; dentro de los costos totales, se debe considerar la capacitación al personal médico, como el valor del mantenimiento preventivo como el correctivo.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

4.1 Pruebas de adquisición de imágenes de ultrasonido.

En la Figura se muestra la adquisición de una imagen médica de ultrasonido, la imagen adquirida se encuentra almacenada en el dispositivo ipad.



Figura 4.1 Adquisición de imagen del ultrasonido [Autores].

4.2 Pruebas de envío de estudios al PACS.

Se procedió a enviar los estudios realizados al sistema PACS, los mismos que fueron transferidos a satisfacción, se puede apreciar en la siguiente Figura.



Figura 4.2 Menú de configuración DICOM para envío al PACS [Autores].

4.3 Pruebas de funcionamiento del PACS e integración del sistema.

Para realizar las pruebas de visualización, de los estudios que contienen las imágenes médicas en el sistema PACS, se debe acceder mediante el uso de un explorador web a la dirección local URL: **localhost:8080/pacs-esp/**, utilizando el usuario y contraseña antes definida.

En la Figura 4.3 se puede apreciar, la recepción de los estudios y la previsualización de las imágenes almacenadas en la base de datos del PACS. Adicionalmente se verifica la conectividad DICOM del sistema.

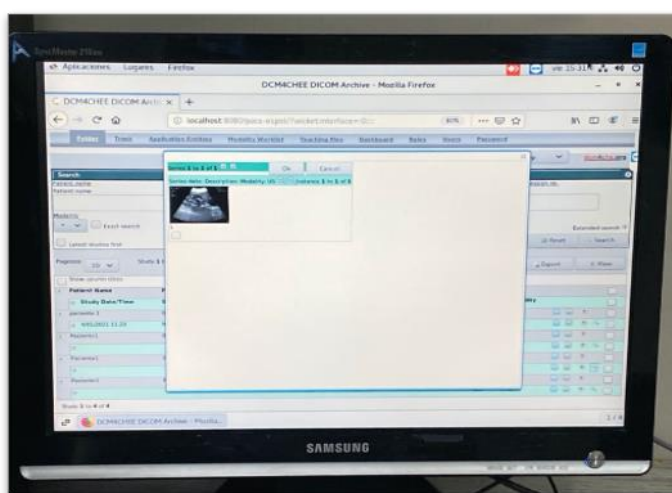


Figura 4.3 Consola web de administración del PACS [Autores].

4.4 Pruebas de aplicación gráfica cliente-servidor.

Durante la implementación del servidor PACS, se instaló un servicio web (se puede apreciar en la Figura 4.4), para que el usuario sepa que se encuentre en la misma red lan del servidor, además esta la opción de visualización y descarga de las imágenes, utilizando el visor weasis para formato DICOM.

Se realiza la prueba de funcionamiento de este servicio, accediendo mediante el uso de un explorador web a la dirección local URL: **dirección IP del servidor Pacs/login.php** (ejemplo: [https:// 192.168.2.209/login.php](https://192.168.2.209/login.php)).

Dentro de las pruebas de funcionamiento de la aplicación gráfica del sistema PACS se valida el acceso a la plataforma web con el usuario: **medico** y contraseña: **medico**.



Figura 4.4 Pantalla de ingreso a la plataforma web del PACS [Autores].
Una vez ingresado los parámetros de seguridad, se puede apreciar en la siguiente Figura el listado de los pacientes.

ID Paciente	Paciente	Accesion	Modalidad	Descripción	Fecha Estudio	Visores
0009703828	HEAD EXP2		CT		14-04-1998 20:35	[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
123456789	PACIENTE PRUEBA		US			[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
123456789	PACIENTE 15 ENE		US			[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]

Figura 4.5 Pantalla de búsqueda y lista de pacientes [Autores].

4.5 Pruebas de consulta, descarga y visualización de las imágenes médicas.

La plataforma web permite realizar una búsqueda avanzada de los estudios almacenados en el PACS y provee al usuario tres opciones de visualización.

ID Paciente	Paciente	Accesion	Modalidad	Descripción	Fecha Estudio	Visores
0009703828	HEAD EXP2		CT		14-04-1998 20:35	[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
123456789	PACIENTE PRUEBA		US			[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]
123456789	PACIENTE 15 ENE		US			[JPEG] [DICOM-APP] [HTMLS]

Figura 4.6 Opciones de visualización en la plataforma web del PACS [Autores].

- **JPEG.-** Muestra las imágenes del paciente seleccionado en formato de archivo de foto, en una forma de visualización rápida; principalmente es utilizada por especialistas de referencia (médicos generales) que no requieren herramientas DICOM para su análisis.



Figura 4.7 Visor web del PACS en formato jpeg [Autores].

- **DICOM-APP.-** Esta opción permite al usuario o especialista descargar y visualizar las imágenes del paciente seleccionado a su estación de trabajo (PC) mediante el visor DICOM de código abierto **weasis**, el mismo que le permite al usuario utilizar herramientas DICOM básicas para la visualización, modificación de brillo y contraste de la imagen y realizar mediciones de longitud y área.

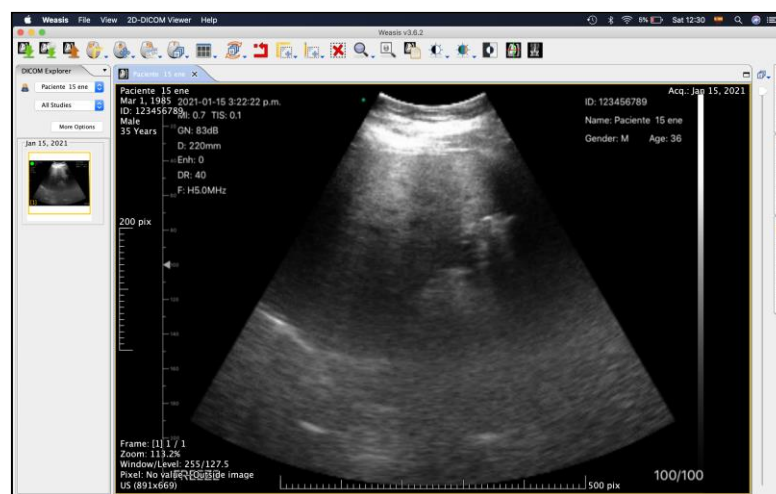


Figura 4.8 Visor web del PACS en formato DICOM [Autores].

- **HTML5.-** Esta opción permite la visualización web de las imágenes en formato DICOM con herramientas de apoyo básicas para realizar mediciones y modificación de brillo y contraste de la imagen. Se utilizada principalmente en aplicaciones de teleradiología para la visualización remota de las imágenes médicas en formato DICOM.

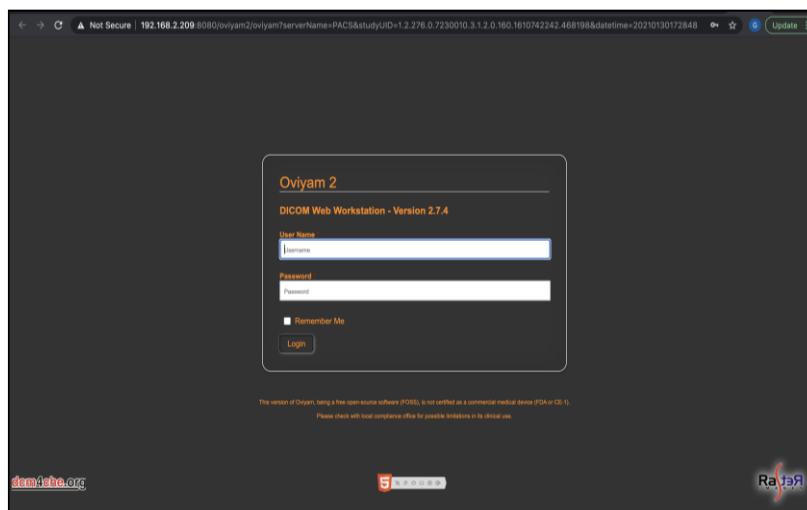


Figura 4.9 Plataforma de ingreso HTML5 [Autores].

4.6 Pruebas de consulta remota y visualización web para aplicaciones de teleradiología.

Los servicios DICOM implementados en el PACS, brindan a los usuarios de estos sistemas a través de una conexión segura de internet, por ejemplo una conexión VNP, establece una comunicación con los servicios web del servidor del PACS y de esta manera accede. con la respectiva autenticación y autorización a la base de datos de los pacientes y la visualización de las imágenes médicas de manera remota, para propósitos profesionales relacionados al diagnóstico medico, es decir que funciona como un sistema de teleradiología. Se muestra la pantalla de autenticación para el acceso web a la base de datos del PACS a traves de una conexión HTML5.

Hay que destacar, que el servicio de teleradiología es el sistema idóneo para transmitir las imágenes DICOM, en forma rápida y con la mínima perdida de calidad.

Mediante este servicio DICOM se puede acceder de manera ágil a la visualización web de las imágenes almacenadas en el PACS en formato

DICOM con herramientas de apoyo básicas para realizar mediciones y modificación de brillo y contraste de la imagen.

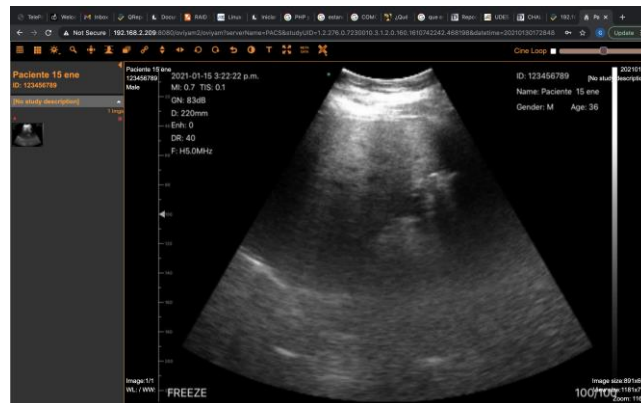


Figura 4.10 Visualización web en la plataforma HTML5 [Autores].

Como prueba final, se realizan comparaciones para valorar los tiempos de envío de los estudios desde un PACS hacia una estación de trabajo, utilizando el método normal de transferencia de datos, y por otro lado la teleradiología; se envían 2 tipos de estudios, un rayos X de tórax con peso de 14 MB con 2 imágenes DICOM y un estudio de tomografía de abdomen con un peso de 62 MB y 253 imágenes DICOM.

Sistema	Estudio	Tipo de Internet	Tiempo de envío
Comunicación normal	Rx	60 Mpps	150 segundos
	Ct	60 Mpps	540 segundos
Teleradiología	Rx	60 Mpps	15 segundos
	Ct	60 Mpps	60 segundos

Tabla 4 .1 Comparación de tiempos de envíos entre PACS y teleradiología [Autores].

Es indudable que la teleradiología es la herramienta idónea para este tipo de envío y transmisión de estudios, recordemos que el sistema PACS ya ha gran demandan de datos (pacientes), se vuelve lento en cuanto a su transferencia fuera de la unidad, por lo que se puede evidenciar que la teleradiología (parte de la telemedicina), es de suma importancia en un centro médico u hospital.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

- Los sistemas de almacenamiento y distribución de imágenes médicas PACS han evolucionado mejorando el flujo de trabajo en los departamentos de radiología en hospitales, mediante conexiones seguras, internet y enlaces web, se pueden utilizar para aplicaciones de teleradiología, en el campo de la telemedicina.
- El presente trabajo de graduación, ha logrado cumplir con los objetivos planteados. Se ha conseguido diseñar e implementar un sistema PACS utilizando protocolos de comunicación DICOM y herramientas de software de código abierto instaladas en un servidor, que formará parte del laboratorio de electrónica médica de la ESPOL.
- Con fines demostrativos se ha logrado integrar al sistema PACS un dispositivo portable comercial de adquisición de imágenes de ultrasonido para la generación de las imágenes medicas en formato DICOM que se utilizaron para el desarrollo del presente trabajo.
- Adicionalmente, en el servidor PACS se ha implementado correctamente un servicio web para la visualización de las imágenes médicas de manera local y remota, utilizando un servidor Apache y programación PHP.
- Se realizaron las pruebas de integración y funcionamiento del sistema, así como también las pruebas de envío, almacenamiento, consulta y visualización de las imágenes médicas de ultrasonido, todas a entera satisfacción.
- Con los resultados del presente trabajo, queda demostrado el beneficio del software libre, al implementar un sistema como herramienta de trabajo para el almacenamiento y distribución de las imágenes médicas a un bajo costo, con prestaciones robustas y eficientes para soluciones a pequeña y gran escala.
- Al entregar el presente proyecto (servidor PACS) al laboratorio de electrónica médica de la ESPOL, se busca poner al alcance de los estudiantes una herramienta de laboratorio, donde se pueda adquirir un nivel de práctica y entendimiento sobre el funcionamiento de los sistemas de adquisición, almacenamiento, distribución y visualización web de imágenes médicas y a su vez comprender su alcance en los servicios de teleradiología como aplicación en el campo de la telemedicina.

Recomendaciones

- Es necesario que el laboratorio de electrónica médica, tenga un cableado estructural y comunicación interna, entre las computadoras que están instaladas en el área con el sistema PACS, recordemos que los mismos deben estar siempre en la misma familia IP de redes.
- Se adjunta manual o guía de usuario, en la cual el estudiante debe registrarse para realizar la práctica de comunicación y sistemas PACS.
- Para revisar las imágenes médicas, fuera del laboratorio es necesario que la misma tenga una IP pública, para que pueda ser conectada al servidor del mismo y se pueda visualizar los estudios fuera del laboratorio.
- Es necesario que todas las imágenes que vayan a ser almacenadas en el sistema PACS, estén anonimizadas, existen gran cantidad de estudios en formato DICOM, que pueden ser descargados y están sin nombre.
- A manera de modalidad, se debe utilizar la maleta de telemedicina que está en el laboratorio de electrónica médica, existe también software gratuitos que simulan una modalidad y pueden servir para la transmisión de imágenes médicas hacia el PACS.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] B. Mansoori, K. K. Erhard, y J. L. Sunshine, «Picture Archiving and Communication System (PACS) Implementation, Integration & Benefits in an Integrated Health System», *Acad. Radiol.*, vol. 19, n.º 2, pp. 232, feb. 2012, doi: 10.1016/j.acra.2011.11.009.
- [2] D. Kapoor, «Picture Archiving and Communication Systems (PACS) – A New Paradigm in Healthcare», *Apollo Med.*, vol. 7, n.º 3, pp. 181-184, sep. 2010, doi: 10.1016/S0976-0016(11)60102-6.
- [3] B. Mansoori, K. K. Erhard, y J. L. Sunshine, «Picture Archiving and Communication System (PACS) Implementation, Integration & Benefits in an Integrated Health System», *Acad. Radiol.*, vol. 19, n.º 2, pp. 233, feb. 2012, doi: 10.1016/j.acra.2011.11.009.
- [4] LIU Yuanyuan, «Cognitive Experiment of PACS Teaching», *2012 Int. Symp. Inf. Technol. Med. Educ.*, 2012.
- [5] A. Kalyanpur, «Teleradiology and Artificial Intelligence – Birds of the Same Feather», *Acad. Radiol.*, vol. 27, n.º 1, pp. 123-126, ene. 2020, doi: 10.1016/j.acra.2019.04.011.
- [6] Dicom Staff, «DICOMSTANDARD», *DICOM*. <https://www.dicomstandard.org/>.
- [7] Leehan, Martínez, «Instalación y operación de Sistemas Pacs: características fundamentales». UAM-Iztapalapa, nov. 1998.
- [8] J. H. Rivera, «JUAN PABLO TRUJILLO LEMUS», n.º 45, p. 7.
- [9] Jiménez Armando, Sistema PACS mínimo basado en el estándar DICOM. jul. 2006.
- [10] J. Fernández-Bayó, O. Barbero, C. Rubies, M. Sentís, y L. Donoso, «Distributing Medical Images with Internet Technologies: A DICOM Web Server and a DICOM Java Viewer», *RadioGraphics*, vol. 20, n.º 2, pp. 581-590, mar. 2000, doi: 10.1148/radiographics.20.2.g00mc18581.
- [11] Z. Wang, Q. Li, Y. Wang, B. Liu, J. Zhang, y Q. Liu, «Medical Protocol Security: DICOM Vulnerability Mining Based on Fuzzing Technology», en *Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, London United Kingdom, nov. 2019, pp. 2549-2551, doi: 10.1145/3319535.3363253.
- [12] Chiarani, Pianucci, Lucero. (2004). Criterios de evaluación de plataformas Virtuales de Código Abierto para Ambientes de Aprendizaje Colaborativos, *Red de Universidades con Carreras en Informática (RedUNCI)*, 88-93.
- [13] Castro MCL, Delgado GA. (2014). Visor de imágenes médicas digitales web. *Revista Cubana de informática Médica.*;6(1).

- [14] Ratib,O.,Rosset, A.Open-source software in medical imaging:developmente of OsiriX, *Inst J CARS* 1,187-196(2006).
- [15] Ruiz C, Zuluaga A, Trujillo A.(2007) Telemedicina: Introducción, aplicación y principios de desarrollo.*Rev CES Med*, 77-93.
- [16] W. Xiong, J. Du, B. Nie, L.Huang and X. Zhou. Research on DICOM file compression and offline storage platform, (2017). *International Conference on Computer Science and network technology*, pp 520-524.
- [17] G. Zomosa, Análisis de la viabilidad de un Servicio de telemedicina - teleradiología del hospital Clínico de la universidad de Chile con establecimientos del ministerio de salud u otros, a través de un marco de análisis de factores humanos, organizacionales y tecnológicos.(2017)

APÉNDICE

A.- GUÍA DE USUARIO

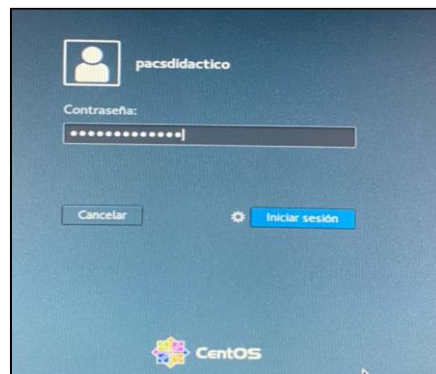
1.- SERVIDOR PACS

- Encender el cpu principal el servidor IBM.



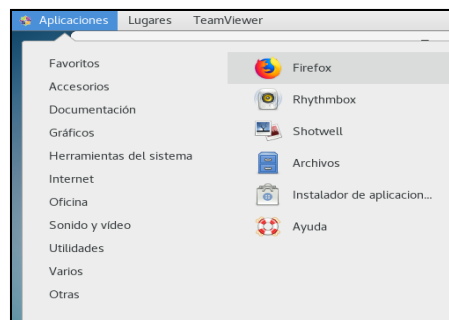
Servidor principal.

- En la pantalla de inicio de pantalla, hacer click en el usuario “pacsdiidactico” e ingresar la contraseña : **pacsdidactico**.



Usuario del sistema.

- Una vez que le sistema operativo se encuentre cargado, escoger una pestaña en el explorador y escoger el navegador Firefox y tipear URL:**localhost:8080/pacs-esp01**



Aplicación de URL.

➤ Va a aparecer el siguiente menú

User login at PACS

Username:

Password:

Menú de ingreso.

Ingresar en username : **admin**

Contraseña : **Pacs.2020!**

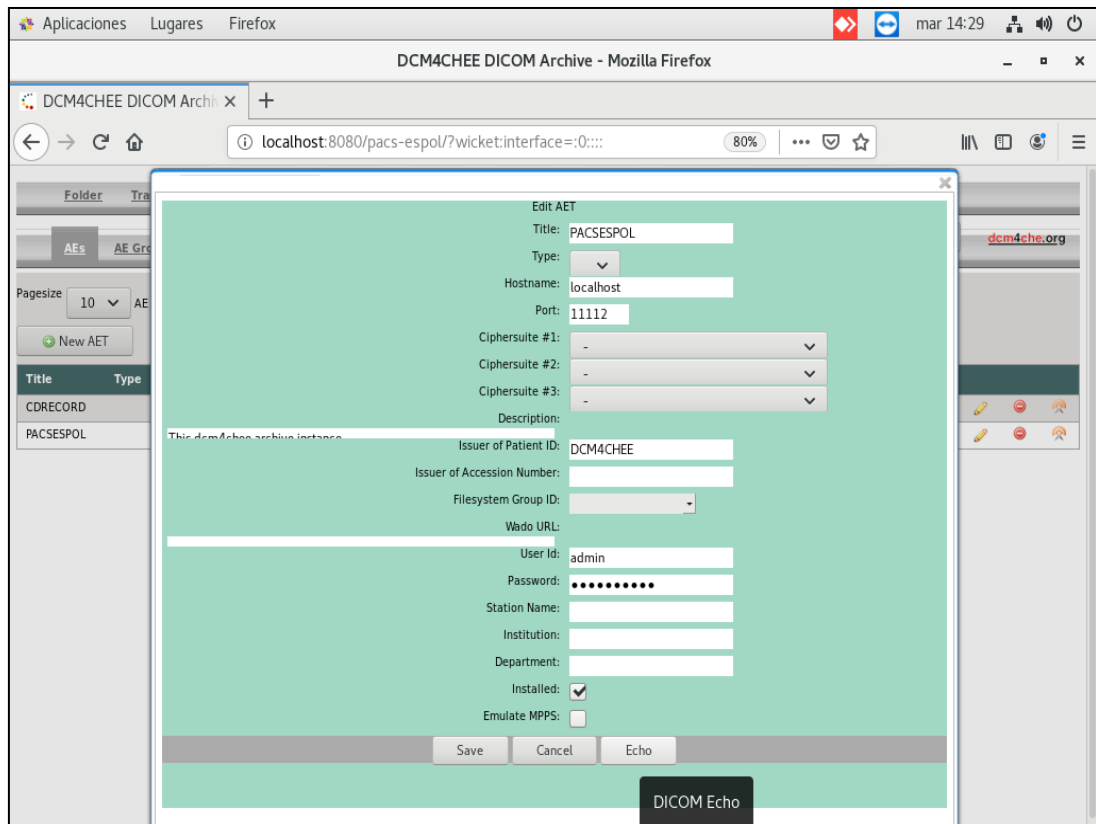
➤ Finalmente se debe realizar la prueba de comunicación local DICOM ECHO, para verificar que los servicios DICOM se encuentran en ejecución. En la consola web de administración del PACS se accede al menú Application Entities y se dá click en **“edit AET”** en la pestaña del usuario PACSESPOL.

The screenshot shows the web interface for DCM4CHEE DICOM Archive. The browser address bar shows the URL: localhost:8080/pacs-esp/?. The main menu includes 'Application Entities', 'Modality Worklist', 'Teaching files', 'Dashboard', 'Roles', 'Users', and 'Password'. The 'Application Entities' tab is active, displaying a table of AETs. The table has columns for Title, Type, Host, Port, Description, TLS, MPPS, Station name, Institution, and Department. Two AETs are listed: CDRECORD and PACSESPOL. The PACSESPOL AET is selected, and an 'Edit AET' button is visible at the bottom right.

Title	Type	Host	Port	Description	TLS	MPPS	Station name	Institution	Department
CDRECORD		localhost	10104	Media Creation Server (part of dcm4chee)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
PACSESPOL		localhost	11112	This dcm4chee archive instance	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

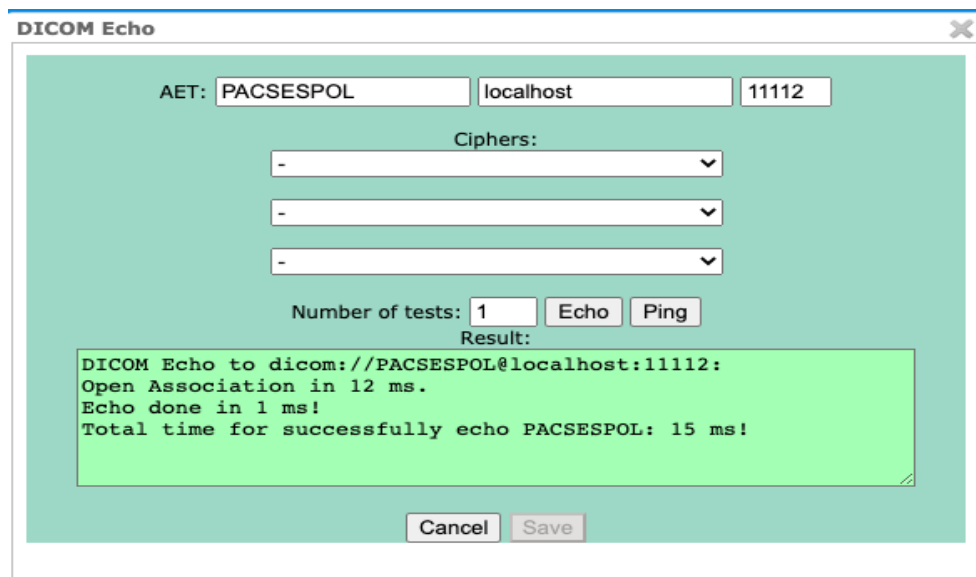
Panel de configuración del PACS.

➤ En la siguiente pantalla, se dá click en “DICOM ECHO”.



Prueba de comunicación.

➤ Si el sistema esta trabajando en forma correcta, en la pantalla debe aparecer todo correcto, aquí verificamos que el sistema PACS se encuentra listo para recibir y distribuir estudios radiológicos de cualquier modalidad DICOM.



Prueba de comunicación DICOM.

2.- CONSOLA DE TRABAJO.

- En la pc normal, se proceda abrir una pestaña de navegador e ingresar la siguiente direccion URL: `://localhost/login.php` y aparece la siguiente pantalla, ahí se ingresa los siguientes datos :

user name : medico

contraseña : medico



Diseño web de ingreso a pacientes.

- Una vez que los datos han sido ingresados correctamente, aparece un listado de estudios, ahí podemos escoger diferentes tipo de modalidades y visores de las imágenes médicas.

ID	Paciente	Accesión	Modalidad	Descripción	Fecha Estudio	Visores
0009703828	HEAD EXP2		CT		14-04-1998 20:35	JPEG DICOM-APP HTML5
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		JPEG DICOM-APP HTML5
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		JPEG DICOM-APP HTML5
0001	PACIENTE1		US	ABDOMEN		JPEG DICOM-APP HTML5
123456789	PACIENTE PRUEBA		US			JPEG DICOM-APP HTML5
123456789	PACIENTE 15 ENE		US			JPEG DICOM-APP HTML5

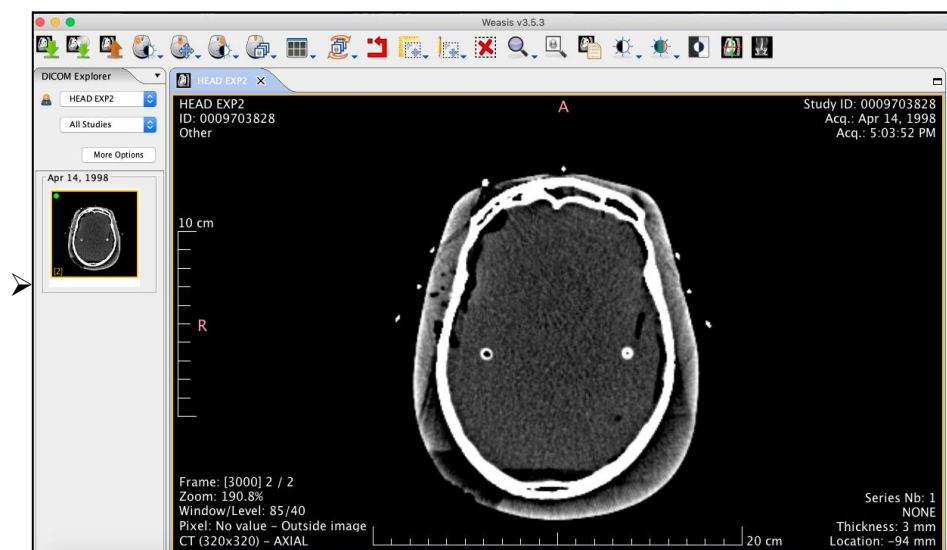
Lista de pacientes.

- Podemos escoger para revisar las imágenes radiológicas, entre Jpeg, DICOM APP, o HTML5.
- Visor Jpeg, este tipo de formato de estudios se utiliza para revisar una imagen en forma rápida, es un archivo de foto y por ende no es de mucha ayuda para realizar un diagnostico especializado, se utiliza como visor ligero.

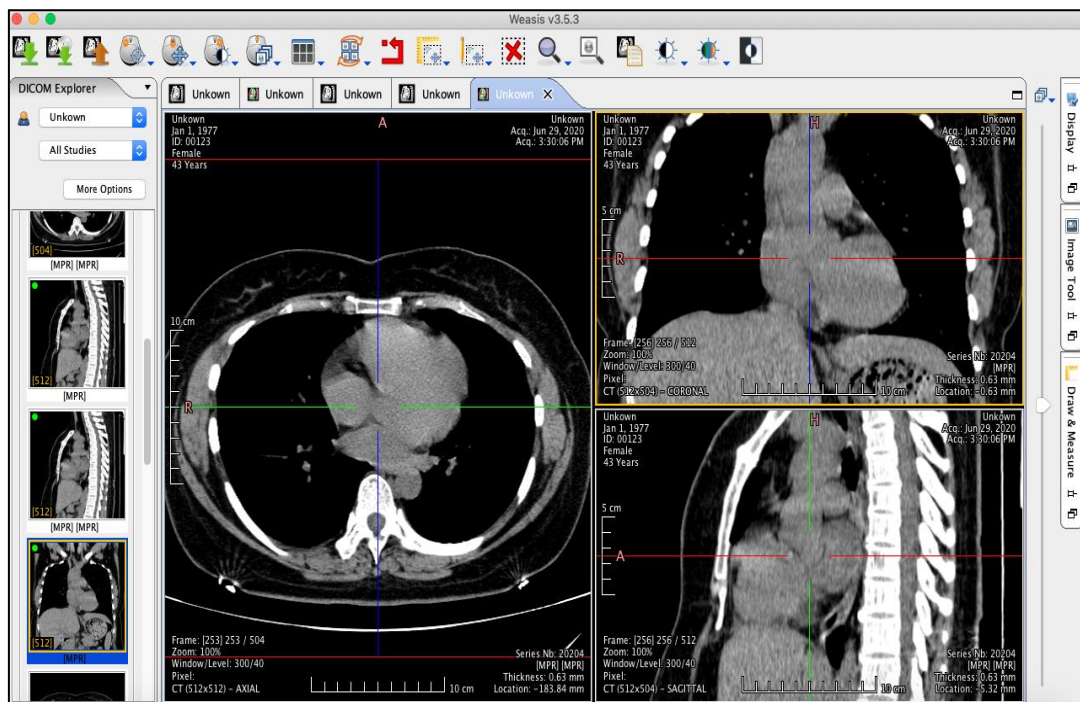


Imágenes jpeg.

- Visor DICOM APP, este archivo ya esta presentado en formato DICOM, y el mismo es utilizado por diferentes especialistas con las herramientas necesarios para un diagnostico efectivo.

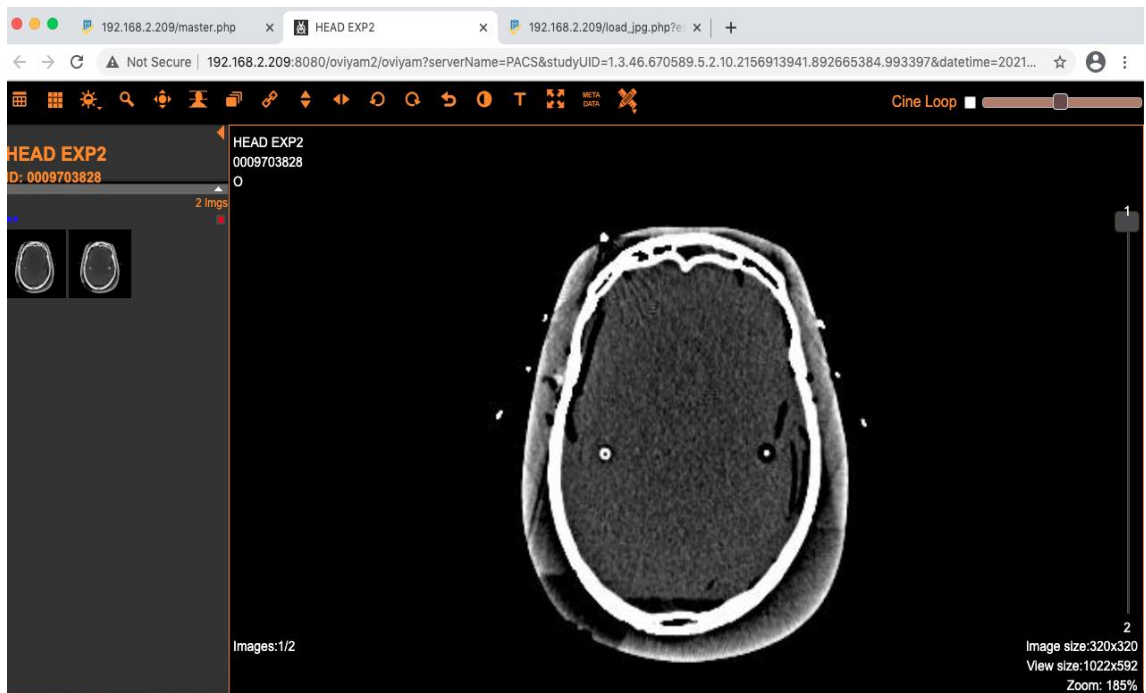


Imágenes DICOM



Imágenes MPR.

- Visor HTML5, utilizado para revisión de las imágenes DICOM en forma ligera , generalmente son utilizados para teléfonos celulares o tables.



Imágenes Html5.

B.- PRÁCTICA

1.- PREPARACIÓN DEL SISTEMA

- Como modalidad, vamos a utilizar la estación de trabajo, en el escritorio a vamos a encontrar la carpeta PACS.
- Dentro de esa carpeta vamos encontrar 2 subcarpetas, la primera subcarpeta contiene estudios de diferentes modalidades con imágenes DICOM anónimas; la segunda subcarpeta contiene el instalador de una estación de trabajo, y un archivo de prueba de comunicación DICOM Echo (sistemas de software libre).

2.- PRUEBA DE COMUNICACIÓN.

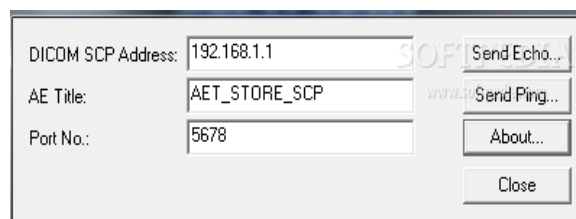
- Ingresar a la subcarpeta de instaladores, y abrir el archivo DICOM ECHO, en el mismo se debe ingresar los siguientes datos:

IP: localhost (o Ip asignada)

Aetitle : PACSESPOL

Puerto : 11112

- Dar click en send echo . Si la configuración esta correcta, se va obtener un mensaje de que esta todo correcto.



Pantalla de prueba de DICOM Echo.

- Si la prueba esta incorrecta, verificar el IP y realizar ping de comunicación con el sistema PACS.

3.- INSTALACIÓN DE ESTACIÓN DE TRABAJO.

- Ingresar a la subcarpeta de instalación escoger el archivo clear canvas, e instale, siga todos los pasos que solicitan el software, una vez que el

software este correctamente instalado, proceda a reiniciar la computadora.

4.- CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE TRABAJO.

- Ingresar al software Clear Canvas, e ir al icono de configuración, ingresar los mismos parámetros de Ip, Aetitle y puerto, que se utilizaron en la prueba de comunicación.

5.- IMPORTACIÓN DE ESTUDIOS.

- En el software Clear Canvas, ir al icono de importación de estudios, y escoger los archivos de la subcarpeta de estudios, e importar los mismos, así la base de datos del Clear Canvas, ya tiene un listado de estudios, lista para trabajar.

6.- ENVÍO DE ESTUDIOS AL PACS.

- En el listado de estudios del Clear Canvas, escoger la modalidad de CT y enviar al sistema PACS (previamente configurado), revisar en el sistema PACS, que los estudios ha sido transferidos correctamente de la estación de trabajo al PACS,
- Realizar los mismo con estudios de MRI, Ecografía, y Rayos X y el archivo Phantom.

7.- CONTROL DE CALIDAD EN CT.

- Ingresar al visor de estudios como se habia explicado en la parte A, punto 2 de este manual.
- Se va revisar los Números CT de Hounsfield, una vez que se ha ingresado los estudios al PACS, escoger el estudio Phantom, y visualizar la imagen.
- Ecoger en la barra de herramientas, el icono ROI, y crear varios círculos y mover en cada punto de la imagen hasta obtener, los valor CT Hunsfield así como se muestra en la figura.

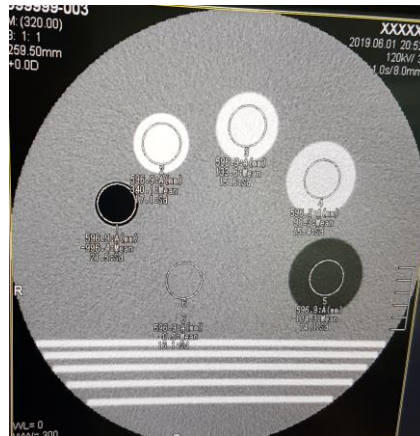


Imagen real CT del Phantom.

- Una vez que se obtenga los valores ROI en cada circunferencia, llenar la siguiente tabla.

	a : -1015 to -975	<a>: _____
	b : 330 to 350	: _____
	c : 120 to 140	<c>: _____
	d : 90 to 110	<d>: _____
	e : -115 to -95	<e>: _____
	f : -5 to 5	<f>: _____

Tabla de Valores de CT en el visor.

- Cada diámetro, representa cada valor de numero CT de Hunsfield, para diferente densidad del material.
- Con esto comprobamos, que un estudio realizado en un equipo de tomografía, se obtiene igual resultado de calidad de imagen, que en una consola de visualización de un sistema PACS.