

Diseño de una red WIFI para el Hospital Metropolitano de Quito que cumpla con los estándares IEC 60601:1 de seguridad para equipos médicos

Bastidas J.*; Calderón X.**

* Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Quito, Ecuador (Tel: 593-2-2507-144; e-mail: jorge.bastidas@mailfie.net)

** Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información
Quito, Ecuador (Tel: 593-2-2507-144; e-mail: xavier.calderon@epn.edu.ec)

Resumen: El presente artículo trata sobre el diseño de una red inalámbrica que cumpla con los requerimientos de seguridad electromagnética que están dados por el estándar internacional IEC 60601-1-2. El objetivo principal del proyecto es el de brindar el servicio de internet inalámbrico a los pacientes del Hospital Metropolitano de Quito (HMQ). En la realización del proyecto se mantuvo como prioridad la salud de los pacientes, y por ende el funcionamiento y la seguridad de los equipos médicos eléctricos (EME), por lo cual se sigue el estándar IEC 60601-1-2 que es reconocido internacionalmente por organismos de Salud y los fabricantes de estos equipos. El estándar da normativas y recomendaciones de los diferentes fabricantes de EME para garantizar la compatibilidad electromagnética con equipos de radio frecuencia. Con el desarrollo del proyecto se trata de que el HMQ y en general cualquier Hospital; al aplicar un estándar de seguridad médica garantice la entrega segura de los resultados de las diversas pruebas médicas que se realizan con los EME, además de que no exista ningún tipo de interferencia de la red inalámbrica con los equipos usados en el Hospital para precautelar la salud y bienestar de los pacientes.

Palabras clave: Diseño, Red inalámbrica, Interferencia Electromagnética, Equipos médicos, Hospital.

Abstract: The present article involves the design of a wireless network; the objective is to accomplish with electromagnetic security requirements, based on international standard IEC 60601-1-2. The principal goal of the paper is giving wireless internet service to patients of "Hospital Metropolitano de Quito" (HMQ) and to provide a technological basis for the application of new technologies. The priority of this project development was to keep the patients' health, it means to ensure the right working medical electrical equipment, whereby is necessary to follow the international standard IEC 60601-1-2 which is globally recognized by health organisms and equipment manufacturers. With the development of the project is that the HMQ and generally any Hospital, by applying a standard of medical safety ensuring the safe delivery of the results of various medical tests performed with medical equipment electrical, plus there is not any interference with wireless network equipment used in the Hospital for safeguard the health and welfare of patients.

Keywords: Design, Wireless network, Electromagnetic interference, Medical equipment, Hospital

1. INTRODUCCIÓN

El Hospital Metropolitano de Quito (HMQ) es una institución de salud que siempre busca estar con los niveles más altos de tecnología existentes, así como el brindar la mejor atención posible a sus pacientes. Por lo cual ve como una necesidad el brindar el servicio de Internet inalámbrico en todo el edificio de la institución, esto con el fin de ampliar sus servicios a los

pacientes e implementar nuevas tecnologías. En la actualidad las tecnologías inalámbricas están presentes con más frecuencia en la mayoría de equipos electrónicos; desde laptops, celulares, impresoras, etc. por lo que cada vez es más común que existan diversas áreas con servicio WiFi.

La mayor parte de instituciones de salud por su parte no brindan este servicio en la totalidad de sus instalaciones, motivo por el cual es muy extraño que se realice un estudio

sobre las posibles consecuencias o requerimientos para la Médicos Eléctricos (EME). Diversas instituciones internacionales poseen sus estándares de compatibilidad electromagnética de EME y equipos inalámbricos de radio frecuencia. El estándar más utilizado por las empresas es el IEC 60601-1-2, por lo cual los manuales de uso de los EME poseen la información correspondiente sobre su cumplimiento del mismo. Al HMQ siempre le ha preocupado cumplir con los estándares internacionales sobre seguridad, por lo cual es una necesidad el realizar el estudio para la posible implementación de una red inalámbrica que no cause problemas en el funcionamiento de los EME y que cubra todas las áreas del edificio con el servicio.

2. ESTÁNDAR IEC 60601-1-2 [8][9]

Con respecto a IEC 60601-1-2 cubre diversos aspectos en cuanto a los diversos tipos de fenómenos electromagnéticos con sus diferentes grados de severidad que interactúan sobre los equipos médicos. El objetivo de este estándar es buscar la compatibilidad electromagnética entre los equipos médicos y otros equipos no médicos.

2.1. Requisitos generales

Para los EME el estándar especifica que no deben emitir perturbaciones electromagnéticas que puedan interferir con otros sistemas que utilizan radio frecuencia. Además indica que los sistemas médicos eléctricos deben de tener una adecuada inmunidad, de tal manera que puedan ofrecer un correcto funcionamiento y seguridad básica en presencia de perturbaciones electromagnéticas. El estándar ofrece un procedimiento para la determinación de si el equipo que no es médico eléctrico está exento de los requisitos de compatibilidad electromagnética de esta norma.

2.2. Identificación

Para la demarcación de los equipos se utilizan dos tipos de marcadores especificados en las normas IEC (Comisión Electrotécnica Internacional). El primero de ellos especifica a los EME que incluyen transmisores de radio frecuencia o aplican energía electromagnética y está especificado en la norma IEC 60417-5140 (2003-04). Este identificador se observa en la Fig. 1.



Figura 1. Marcador equipo médico eléctrico [8]

implementación de una red inalámbrica en áreas con Equipos

El segundo marcador se refiere a la identificación de los EME para los que se utiliza la excepción de ensayo del conector, el cual está especificado en la norma IEC 60417-5134 (2004-04) y debe colocarse junto a cada conector, el marcador se observa en la Fig. 2.



Figura 2. Marcador equipo médico eléctrico que utiliza la excepción de ensayo de conector [8]

2.3. Documentación

Para todos los EME en los documentos de acompañamiento se deben de tener los siguientes datos sobre su descripción:

- Información de los cables como longitudes máximas, su tipo y especificación si aplica.
- Presentar una tabla guía y de declaración del fabricante sobre las emisiones electromagnéticas.
- Presentar una tabla guía y de declaración del fabricante sobre la inmunidad electromagnética si aplica.

En relación a los EME diferentes de los especificados para su uso en zonas apantalladas los documentos de acompañamientos deben de presentar la siguiente información:

- Tener una advertencia de que no debería estar adyacente o apilado con otro equipo, pero de ser necesario hacerlo si se debería verificar su funcionamiento.
- Presentar una tabla guía y de declaración del fabricante sobre la inmunidad electromagnética si aplica.
- Los equipos deben de poseer las tablas “Guía y declaración del fabricante para inmunidad electromagnética”. Tabla 1 y “Distancias de separación recomendadas entre los equipos portátiles y móviles de comunicaciones de Radio Frecuencia y el equipo médico eléctrico” Tabla 2.

Tabla 1. Guía declaración del fabricante inmunidad electromagnética [1][14]

Guía y declaración del fabricante - inmunidad electromagnética			
El equipo médico eléctrico está previsto para el uso en un entorno electromagnético especificado abajo. El cliente o el usuario del equipo médico eléctrico deberían asegurar que se use en el entorno.			
Ensayo de inmunidad	Nivel de ensayo de la norma IEC 60601	Nivel de conformidad	Entorno electromagnético guía
RF conducida IEC 61000-4-6	3 Vrms 150 kHz a 80 MHz fuera de las bandas de ICM ²	[V ₁] V	Los equipos móviles y portátiles de comunicaciones de Radio Frecuencia no se deberían usar más cerca de cualquier parte del equipo médico eléctrico. Distancia de separación recomendada $d = \left[\frac{P}{v_1} \right] \sqrt{F}$ $d = \left[\frac{P}{v_2} \right] \sqrt{F}$ $d = \left[\frac{P}{v_1} \right] \sqrt{F}$ 80 MHz a 800 MHz $d = \left[\frac{P}{v_2} \right] \sqrt{F}$ 800 MHz a 2,5 GHz Donde: P es la potencia máxima en vatios (w) y d es la distancia de separación recomendada en metros (m). La interferencia puede ocurrir en la vecindad del equipo con el  símbolo:
	10 Vrms 150 kHz a 80 MHz fuera de las bandas de ICM	[V ₂] V	
RF radiada IEC 61000-4-3	10 V/m 80 MHz a 2,5 GHz	[E ₁] V/m	
NOTA 1 A 80 MHz y 800 MHz, se aplica el rango de frecuencia más alto. NOTA 2 Estas directrices no se pueden aplicar en todas las situaciones. La propagación electromagnética se ve afectada por la reflexión y absorción.			

Tabla 2. Distancias de separación recomendadas entre los equipos portátiles y móviles de comunicación de radio frecuencia [3][4]

Distancias de separación recomendadas entre los equipos portátiles y móviles de comunicaciones de radio frecuencia con el equipo médico eléctrico				
El equipo médico eléctrico está previsto para el uso en un entorno electromagnético en el que se controlan las perturbaciones radiadas de RF. El cliente o el usuario del [equipo médico eléctrico] puede ayudar a prevenir la interferencia electromagnética manteniendo una distancia mínima entre el equipo portátil y móvil de comunicaciones de RF (transmisores) y el equipo médico eléctrico según se recomienda debajo, conforme a la máxima potencia de salida del equipo de comunicaciones.				
Máxima potencia de salida asignada del transmisor W	Distancia de separación conforme a la frecuencia del transmisor m			
	150 kHz a 80 MHz fuera de las bandas ICM $d = \left[\frac{P}{v_1} \right] \sqrt{F}$	150 kHz a 80 MHz fuera de las bandas ICM $d = \left[\frac{P}{v_2} \right] \sqrt{F}$	80 MHz a 800 MHz $d = \left[\frac{P}{v_1} \right] \sqrt{F}$	800 MHz a 2,5 GHz $d = \left[\frac{P}{v_2} \right] \sqrt{F}$
0,01				
0,1				
1				
10				
100				
Para los transmisores asignados con una potencia máxima de salida no listados arriba, la distancia de separación recomendada se puede determinar usando la ecuación aplicable a la frecuencia del transmisor. NOTA 1. A 80 MHz y 800 MHz, se aplica la distancia de separación para el rango de frecuencia más alto. NOTA 2. Se usa un factor adicional de 10/3 en el cálculo de la distancia de separación recomendada para los transmisores en las bandas de frecuencia ICM entre 150 kHz y 80 MHz y en el rango de frecuencia de 80 MHz a 2,5 GHz, para disminuir la probabilidad de que un equipo de comunicaciones móvil/portátil pudiera causar interferencias, si se introduce en áreas del paciente inadvertidamente.				

2.4. Compatibilidad electromagnética [5][6]

En relación a las emisiones se exige como requisito que los EME se deben clasificar como Grupo 1 o Grupo 2 y en Clase A o Clase B conforme a lo dispuesto por la norma CISPR (Comité Internacional Especial sobre Radio Interferencia Especial sobre Radio Interferencia) 311. Conforme a la norma CISPR 11:2003 en su apartado 4.1: Separación de grupos, para su determinación del grupo al que pertenece un equipo eléctrico que use radio frecuencia se siguen los siguientes aspectos.

- El grupo 1 posee todos los equipos ICM, los cuales tienen una generación intencionada o utilizan radio frecuencia acoplada conductivamente para el funcionamiento interno del equipo.
- El grupo 2 posee todos los equipos ICM los cuales generan energía de radio frecuencia intencionalmente, o se usa en forma de radiación electromagnética para el tratamiento de materiales y en máquinas de descarga eléctrica o soldadura de arco.
- Equipos de erosión por chispa.

En relación a la inmunidad debe ser especificada correctamente mediante documentos sobre cada ensayo realizado por el fabricante. Estos ensayos deben realizarse en el modo que se considera más crítico desde una perspectiva del paciente variando la configuración. Para los equipos que no son médicos eléctricos y que forman parte del sistema se encuentran exentos de las pruebas pero se pide que cumplan con normas de inmunidad internacionales y que no afecten a otros EME. Si se requieren señales fisiológicas de los pacientes para verificación se debe tomar en cuenta que ésta no posea una conexión a tierra. De no existir un paciente se lo puede simular utilizando el software del equipo si lo permite.

En el caso de existir EME que incluyan equipos de radio a los cuales se les ha ensayado la inmunidad y cumplan con las regulaciones nacionales e internacionales de radio, estos equipos quedan exentos de los ensayos. Bajo condiciones específicas de las pruebas se debe cumplir con un criterio de conformidad, de tal manera que se proporcione un funcionamiento esencial y seguridad básica. Por lo cual no se debe de permitir:

- Fallos de componentes, falsas alarmas.
- Cambios de parámetros programables o en el modo de funcionamiento.
- Inicialización a ajustes por defecto de fábrica.
- Interrupción en el funcionamiento normal del equipo.
- Comienzo no previsto en su funcionamiento.
- Error en el valor numérico de los resultados.
- Fallo en un equipo médico eléctrico automático.

3. ESTUDIO SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente en el HMQ existe un modelo de red jerárquico, cuyo núcleo es un conjunto de Switches capa 3 apilados; 4 que realizan el ruteo entre los diferentes segmentos de red.

3.1. Estructura de la red

Al existir varios tipos de usuarios y necesidades de seguridad para el HMQ existen varios tipos de segmentos los cuales poseen diferentes tipos de permisos y seguridades para los usuarios. En el edificio del HMQ los segmentos se encuentran separados físicamente en diferentes redes, por lo que cada una tiene su propia red cableada y son totalmente independientes. El nuevo edificio utiliza VLANs para la conexión de equipos y teléfonos con una sola red cableada. Esta distribución se puede observar en la Fig. 3. Como se observa en la Fig. 3 los Switches de Core de modelo “3COM SuperStack III Switch 5500G” poseen un enlace hacia un equipo Firewall de marca “Astaros”, el cual se conecta con el Internet y sirve como anti-Spam; además controla el acceso de Internet de los diferentes equipos en la red.

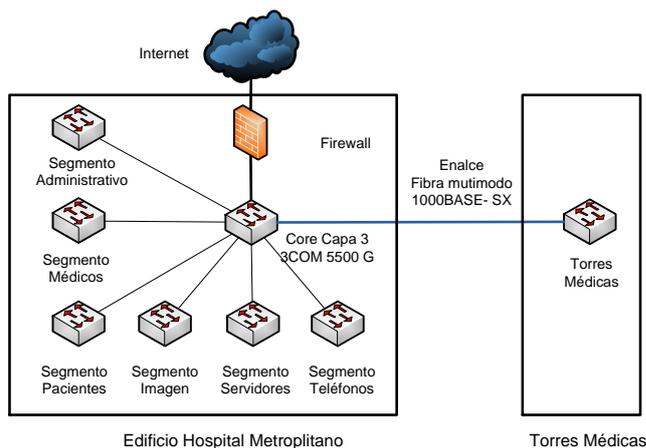


Figura 3. Distribución de redes de la institución.

3.2. Cableado estructurado

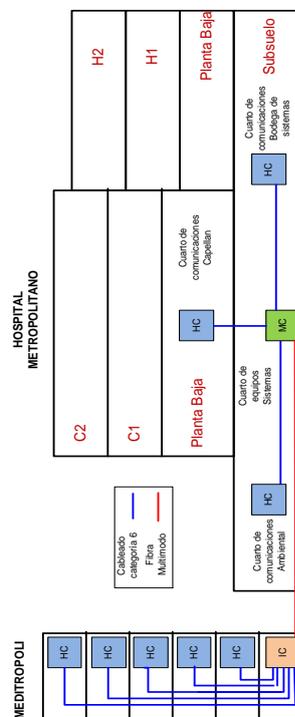


Figura 4. Distribución del cableado vertical en la institución.

La institución posee un sistema de cableado estructurado que fue diseñado con el fin de transportar datos, voz e imágenes. Los segmentos de red son independientes entre sí físicamente por lo que cada uno posee un Switch de Core y un Switch de distribución en cada cuarto de equipos. Ésto causa que para la conexión entre los diferentes cuartos de telecomunicaciones se utilice un enlace por cada segmento que se necesite en el área. En el HMQ la red está constituida por cableado UTP categoría 6 TIA/EIA 568-B tanto para el cableado vertical como para el horizontal, esto debido a que la cantidad de tráfico que transporta no es muy alta y además no se supera las distancias máximas de 100 metros permitidas. La única excepción es el segmento de imagen que utiliza fibra multimodo 1000BASE-SX. Para poder cubrir con todas las áreas del HMQ con el fin de no superar los 100 metros que el

cableado permite, se posee varios cuartos de telecomunicaciones. Con este fin en el subsuelo aparte del cuarto de equipos del Departamento de Sistemas existen dos cuartos de telecomunicaciones adicionales, además de otro existente en la Planta Baja. De los cuartos de telecomunicaciones ubicados en el Subsuelo, el primero se le conoce como “Bodega de Sistemas” y se encarga de cubrir también las áreas de Hospitalización de Planta Baja, H1 y H2. Para cubrir con los pisos C1 y C2 se utiliza el cuarto de telecomunicaciones de la Planta Baja también conocido como “Capellán”. El cuarto de telecomunicaciones de “Ambiental” ubicado en el subsuelo se creó para cubrir con la distancia de los departamentos alejados del cuarto de equipos ubicado en el Departamento de Sistemas. Toda esta distribución se puede observar en la Fig. 4.

3.3. Red inalámbrica

La red inalámbrica existente en el HMQ, se encuentra ubicada en el área de Hospitalización, con el propósito de brindar el servicio de Internet a los usuarios mediante el segmento Pacientes. Los Access Points que se utilizan son de marca “3COM Wireless 7760 11a/b/g PoE Access Point WL-561”, el mismo que se administra mediante un “Wireless LAN Controller WX5002” [15]. El equipo “Wireless LAN Controller WX5002” posee administración vía web y sus especificaciones se observan en la Fig. 5. Para la localización física de las antenas se emplea el ensayo y error, esto hasta conseguir que la señal cubra toda el área necesaria de las habitaciones. [13]

3.4. Área de cobertura y estructura de la red inalámbrica

Al ser el servicio de Internet inalámbrico una necesidad de rápida solución para el HMQ y sin necesidad de que tenga grandes avances tecnológicos o requerimientos muy extensos, cuando se diseñó únicamente se verificó que la señal cubra las áreas de hospitalización. Por lo cual la colocación de los equipos no tuvo mayor diseño y la única prueba realizada era que exista la conexión inalámbrica de una laptop en cada habitación sin conocer realmente la magnitud de estas áreas de cobertura [7]. Estas áreas de cobertura comprenden 3 pisos los cuales se los llama:

- Hospitalización PB.
- Hospitalización H1.
- Hospitalización H2.

Como únicamente son cuartos de estadía para los pacientes aquí no existen equipos médicos de gran importancia, los únicos equipos que existen son sensores para monitorear los signos vitales de los pacientes los cuales no transmiten ninguna información o utilizan radiofrecuencia en su funcionamiento.

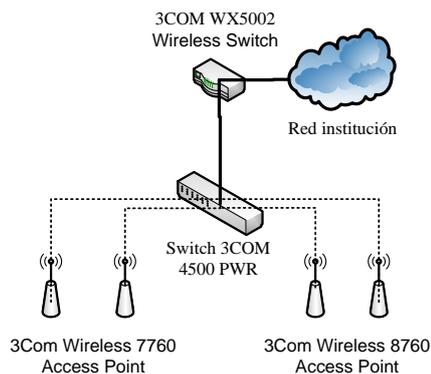


Figura 5. Estructura red inalámbrica.

Una razón para que no llegue la señal de estos equipos a otras áreas, es la forma de construcción ya que el área de hospitalización es una ampliación del edificio general y se encuentran separadas por paredes independientes con el Hospital, las cuales impiden el paso de las señales de radiofrecuencia. La institución posee equipos de red los de marca 3COM, los cuales brindan una solución para la seguridad y administración de la red por sus capacidades.

Al estar compuesta la red por antenas “3COM Wireless 7760 11a/b/g PoE Access Point WL-561” se utiliza un equipo con sistema de gestión propietario con función de Controlador de Wireless LAN, este equipo es de modelo “3COM Wireless LAN Controller WX5002”, el cual cumple con los requisitos del HMQ de seguridad y administración, además de garantizar escalabilidad. Con este equipo se cubre la necesidad de poder administrar la red inalámbrica con una simple configuración. Esto debido a que la función del “Wireless LAN Controller WX5002” es la de tomar el control completo de las antenas inalámbricas, siendo el equipo el responsable de manejar configuraciones y accesos. Esto convierte a las antenas en solo una extensión del sistema que se observa en la Fig. 5.

3.5. Internet y seguridad

Para el aspecto del acceso de la institución con el Internet, se tomaron en cuenta varias seguridades para su control. Estas son dadas por dos equipos que cumplen con las funciones de IPS y FIREWALL. En cuanto al IPS se utiliza un equipo de marca Tipping Point, el cual filtra y previene los ataques externos hacia el interior. Además este equipo filtra varios programas de comunicación P2P tal como Ares, Bitcomet, Emule, etc. El equipo designado para funcionar de firewall es un KYPUS con capacidad de 500 usuarios, el cual posee una interfaz gráfica que además realiza control por usuarios, puertos, aplicaciones, páginas, grupos y formatos de archivos. Esta configuración de equipos para la conexión a Internet se observa en la Fig. 6.

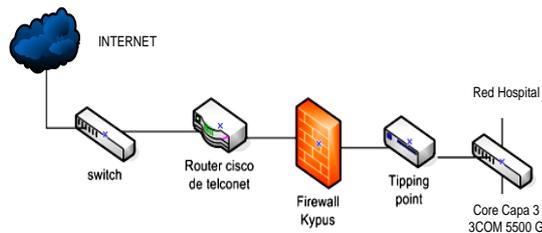


Figura 6. Estructura para la conexión a internet.

3.6. Zonas con equipos médicos

El HMQ tiene varias áreas que poseen EME, las cuales se encuentran en zonas que se tienen previsto implementar una red de datos inalámbrica. Las áreas de mayor concentración de EME se encuentran en la Planta Baja y el subsuelo en el área sur. Otra área con equipos médicos está ubicada en las Torres Médicas en la Planta Baja. En la Planta Baja en el edificio del Hospital se encuentran EME en el área de quirófanos en donde se encuentran varios equipos de tecnología avanzada los cuales son de varios tipos. Otra área con gran cantidad de EME es el área de imagen en donde se encuentran los siguientes equipos:

- Philips Angio Integrus V3000.
- General Electric CT Light Speed VCT 64.
- General Electric Rayos X Revolution XRD.
- General Electric Ultra Sonido Cardio Vivid 7.
- General Electric Ultra Sonido Voluson E8.
- Philips Ultrasonido iE33.

Con respecto al subsuelo aquí se encuentran dos zonas problemáticas por la cantidad de EME existentes las cuales son las áreas de laboratorio y resonancia. Un equipo a tomar en cuenta también es un sistema de ultrasonido portátil Terason t3000 que se utiliza en los quirófanos. En el área de Laboratorio existen varios tipos de EME los cuales analizan muestras médicas de sangre, orina, etc. Los equipos de esta zona son de marca Hitachi proveídos por Roche. Entre estos equipos de esta área se encuentran:

- Cobas 6000 analyzer series.
- Cobas C311.
- Cobas U 411.
- Cobas e 411.
- Elecsys 2010.
- Sysmex UF-1000i.
- Hitachi Automan 917.

En relación a la segunda zona está compuesta por equipos de resonancia electromagnética en la cual existen únicamente 2 equipos especializados los cuales son:

- Philips Intera MRI 1.5 Teslas.

- Philips Intera MRI 3.0 Teslas.

Para finalizar en la última área ubicada en el edificio de las Torres Médicas en la planta baja está ubicado un nuevo centro de cáncer en el área de Aesculapios con EME con función para la detección del cáncer y su respectivo tratamiento siendo el área más sensible por lo especializado de los equipos y el costo de los mismos. Esta área se encuentra en las Torres Médicas las cuales no son propiedad del HMQ, pero poseen varios equipos pertenecientes a la institución. Los equipos existentes en esta área son:

- General Electric CT Light Speed 16 (en conjunto con el acelerador lineal).
- General Electric Ultrasonido Voluson E8.
- Siemens Oncor Impression PLUS.

4. DISEÑO DE LA RED

Para la realización del diseño de la red inalámbrica se toma en cuenta que la prioridad es la implementación del estándar y cumplir con los requerimientos del mismo, para garantizar la compatibilidad electromagnética entre los equipos inalámbricos y los EME. Lo primero a realizar es un listado de las áreas a las cuales se va implementar el servicio de red inalámbrica y un estudio de la atenuación existente por parte de los elementos que se encuentran en las áreas a examinar.

Como siguiente paso se realizará la selección del estándar a utilizar en el proyecto. Luego se realiza un análisis de tráfico que soportará la red inalámbrica, con estos datos obtenidos se determinará el número de usuarios que soportará el sistema y el número de Access Points necesarios para cumplir con los requerimientos del proyecto.[10]

A continuación se determina cuáles son los equipos Access Points a utilizar, debido que el estándar pide los valores de potencia de los mismos para determinar la distancia de seguridad para ubicar los Access Points. Si no se escoge en este punto los modelos de equipos a utilizar, no se podrá determinar la posición de los mismos. Un paso importante en este diseño es el determinar las áreas de cobertura y excepción, esto debido a que el estándar determina áreas en las cuales no deben colocarse equipos de emisión de radio frecuencia. Para determinar estas zonas de exclusión se aplicarán los cálculos requeridos por el estándar IEC 60601-1-2, estos cálculos se realizarán para cada equipo médico eléctrico que determiné el estándar o puede sufrir daño alguno. Por último se realizará la configuración de los equipos y se realizarán las pruebas necesarias, para determinar que con las recomendaciones del estándar no existe ningún tipo de interferencia entre los EME y los Access Points.

4.1. Atenuación

Para analizar la atenuación de la señal se debe revisar toda la estructura del edificio Hospital, la cual en el transcurso de los

años ha recibido varias ampliaciones por lo que posee diversos tipos de construcción. En la Tabla 3 se listan los elementos encontrados en los diversos edificios que podrían causar atenuación especificando el nivel de interferencia. [11]

Tabla 3. Tipos de materiales y su atenuación

Material	Ejemplo	Atenuación
Vidrio	Ventanas, puertas y paredes	Baja
Hormigón	Paredes y pisos	Alta
Ladrillo	Paredes	Media
Madera	Puertas, cubículos	Baja
Yeso	Paredes interiores	Baja
Acero	Armarios y ascensores	Muy alta
Aluminio	Armarios	Muy alta
Bloque	Paredes	Media

4.2. Selección de estándar

Para seleccionar el estándar a utilizar se debe tomar en cuenta la velocidad de transmisión que se desea tener, al igual que el número de usuarios que puede soportar cada estándar. Al ser un requisito del proyecto la utilización de WiFi se revisarán los estándares IEEE para comunicaciones inalámbrica. Entre los estándares existentes se encuentran: 802.11a, 802.11b, 802.11g y 802.11n. Las diferencias entre los mismos se pueden observar de manera resumida en la Tabla 4.[2]

Tabla 4. Selección de estándar

Parámetro	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Frecuencia	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4, 5 GHz
Ancho de Banda	200 MHz	83,2 MHz	83,2 MHz	83,2MHz-2,4GHz 200 MHz - 5GHz
Modulación	OFDM	DSSS	OFDM	OFDM
Canales utilizables	8	3	3	2 con MIMO
Ancho de Banda por canal	20 MHz	22 MHz	22 MHz	40 MHz, 20Mhz
Tasa de transmisión máxima	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	300 Mbps
Cobertura interior	30 metros	50 metros	30 metros	70 metros
Cobertura exterior	50 metros	150 metros	50 metros	250 metros
Usuarios simultáneos	64	32	50	32

4.3. Análisis de tráfico

Para realizar el análisis de tráfico se debe tomar en cuenta las posibles aplicaciones y usos que se le dará a esta red inalámbrica por parte de los usuarios que tendrán acceso a la misma. Entre los usuarios existentes se encuentran los siguientes tipos: empleados de la institución con laptops, técnicos de otras empresas, médicos, pacientes del HMQ y técnicos del laboratorio. Para el cálculo del Ancho de Banda requerido por cada tipo de usuario se los separará en grupos por la función que realizan [12]. Lo tipos de usuarios existentes para esta red inalámbrica serán los siguientes:

- Médico.
- Técnico de laboratorio.
- Empleado con Laptop.
- Paciente.

En la Tabla 5 se presenta el consumo de Ancho de Banda por tipo de usuario tomando el caso de mayor consumo de las diferentes aplicaciones que utilizan.

Tabla 5. Ancho de banda por tipo de usuario

Servicio	Tipo de empleado			
	Médico	Técnico	Empleado	Paciente
GEMA	675 Kbps	-	675 Kbps	-
NAF	-	-	550 Kbps	-
Internet	-	600 Kbps	-	240 Kbps
Correo electrónico	-	-	400 Kbps	-
Telefonía IP	32 Kbps	-	-	-
Capacidad por usuario	707 Kbps	600 Kbps	1625 Kbps	240

4.4. Selección de Access Points

En este proyecto por ser la prioridad la seguridad y funcionamiento de los EME los cuales no deben de retirarse o reubicarse, se tendrá como base los requerimientos del estándar IEC 60601-1-2. Este estándar especifica que para determinar la ubicación de los equipos de radio frecuencia, primero se deben conocer algunos datos técnicos de los mismos como es la potencia de salida, debido a esto se deben seleccionar con anterioridad. Con el fin de cumplir con los requerimientos del HMQ de mantener compatibilidad con los equipos existentes, los sistemas de gestión de red y además que el proyecto no requiera de una mayor inversión para su implementación se utilizarán equipos compatibles con la red actual que es de marca 3COM o actualmente conocidos como H3C.

4.5 Áreas de cobertura y excepción

Este análisis se realiza con el fin de evitar que varios EME de alto costo puedan ser afectados siendo la prioridad su funcionamiento y seguridad; quedando en segundo plano la cobertura de la red inalámbrica o sus requerimientos. Además se debe tomar en cuenta que muchos de estos EME son muy pesados y no pueden moverse de sus sitios originales, por este motivo los equipos a instalar deben ser los que sufran modificaciones o adaptarse a los requerimientos de los estándares. Para realizar estos análisis es necesario disponer de los manuales completos de los equipos, ya que en éstos se encuentra la información relacionada con compatibilidad electromagnética, especialmente la relacionada con el cumplimiento con el estándar IEC 60601-1-2 y sus respectivas guías de declaración del fabricante sobre la inmunidad electromagnética.

4.6 Ubicación de los equipos

Para las áreas que poseen EME se les realizará el análisis respectivo para la ubicación de los Access Point, para el resto de áreas simplemente se ubicarán en el centro de las mismas o cerca a las instalaciones del cableado estructurado ya existente. En las áreas de Hospitalización en las cuales ya existe el servicio de WiFi para los pacientes no se realizará modificaciones, ya que en los Surveys realizados no existe ningún espacio sin señal dentro de las mismas. En los pisos de consultorios C1 y C2 no existen EME en las cercanías, por lo que no es necesario realizar ningún análisis específico ni existe ninguna restricción en cuanto a la ubicación de los equipos. En Planta Baja se ubican las aéreas de imagen y quirófanos en los que se encuentran varios EME que poseen especificaciones para la compatibilidad electromagnética. En el Subsuelo se debe de analizar el área de resonancia magnética antes de ubicar los Access Point, en ésta se encuentran los EME de resonancia magnética. Estos equipos se encuentran juntos uno alado del otro y se instalaron con las especificaciones de la empresa fabricante. Para el área de Aesculapios esta zona ubicada en el edificio de Meditrópoli únicamente se prestará el servicio en la primera sub área en la cual existen dos equipos General Electric por lo que se requiere un análisis con el estándar IEC 60601-1-2.

4.7 Conexión de la WLAN a la red cableada

Para la conexión de los equipos con la red cableada se utilizó el sistema de cableado estructurado ya existente, conectando los Access Points al cuarto de comunicaciones más cercano. Con el fin de disminuir el cableado necesario se utilizarán Switches con tecnología PoE (Power over Ethernet) con la cual la energía necesaria para el funcionamiento de los Access Points se envía por el mismo cableado Ethernet. Para esto tanto el Access Point como el Switch de Acceso al que se conecta deben tener tecnología PoE. Para cumplir los requerimientos los Switches PoE se conectarán los Access Points mediante cable UTP categoría 6 EIA/TIA 568-B, estos Switches deberán conectarse con el equipo “Wireless LAN Controller WX5002” existente en la Bodega de Sistemas, este enlace será con cable UTP categoría 6 a excepción de el equipo de las Torres Médicas que se conectará con Fibra multimodo 1000BASE-SX por superar la distancia de 100 metros. El modelo de conexión se observa en la Fig. 7.

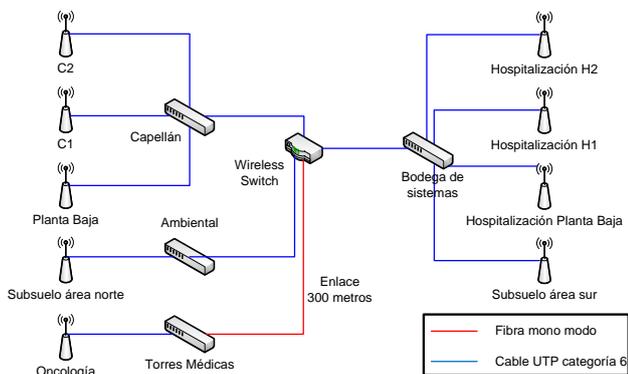


Figura 7. Conexión con la red cableada.

4.8 VLANs y direccionamiento

Al ser un requerimiento del HMQ la compatibilidad con la red cableada por los posibles proyectos a implementarse en un futuro, lo que básicamente requiere el HMQ es que la red inalámbrica sea una extensión de la red cableada existente para varios segmentos como:

- Pacientes.
- Administración (red para administrar equipos).
- Administrativo (red empleados).
- Médicos.
- Wireless Médicos.
- Voz.

La VLAN de administración es una petición por parte del Departamento de Sistemas debido a la necesidad de monitorear toda la red con seguridad. Los otros segmentos son necesarios para pruebas de futuros proyectos como el segmento administrativo que se requiere para dar servicio a los técnicos de las varias empresas y algunos ejecutivos de la institución con equipos portátiles que utilicen Wireless.

4.9 Configuración, seguridad y administración

En estos aspectos la seguridad debe ser tal que no sea muy complejo el acceder a la red para los usuarios y que tenga restricciones de acceso a equipos o redes no autorizadas que sean difíciles de superar para los intrusos. En varias de estas VLANs es necesario que una sola vez se ingrese los datos de autenticación, ya que sería molesto para los usuarios realizar este proceso a diario generando quejas y fallas de ingreso.

En la Tabla 5 se examinarán los métodos de seguridad y su nivel de cumplimiento de los requerimientos del proyecto, para determinar la elección del método de seguridad.

Tabla 5. Selección de protocolo de seguridad

Requerimientos	WEP	WPA	RADIUS
Nivel de seguridad	bajo	medio	alto
Implementación Institución	fácil	fácil	difícil
Configuración usuario	fácil	fácil	difícil
Costo de implementación	bajo	bajo	medio

La mejor opción que está acorde a los requerimientos es WPA (Wi-Fi Protected Access). La selección de este método de seguridad se da por la vulnerabilidad a ataques por parte de WEP, lo que no puede permitirse en la red de la institución y la complejidad de la implementación de un sistema RADIUS que representaría una inversión mayor.

4.10 Verificación y pruebas

Para la realización de las pruebas, éstas se realizarán en el área de imagen con el tomógrafo de modelo “General Electric LightSpeed VCT 64” debido a que es uno de los equipos a los que se puede acceder sin muchas restricciones, al contrario de otros equipos a los cuales se debe de pedir autorización especial o que por políticas de la empresa se prohíbe el

acceso de personal no autorizado. Otra razón para realizar la prueba con este equipo es la cercanía del cuarto de telecomunicaciones por lo que se pueden ubicar los Access Points en el lugar ya determinado para las pruebas.



Figura 8. Tomografía sin Access Points

Para poder realizar la comparación entre los diferentes resultados de las pruebas primero se realizará una tomografía de prueba de la zona del abdomen de un paciente sin ningún Access Point conectado en las cercanías. Esto con la finalidad de observar la calidad de la imagen obtenida sin presencia de equipos de radio frecuencia. Un tomógrafo genera muchas imágenes sobre una misma área designada a diferentes ángulos para poder tener una imagen más clara sobre zonas específicas, por lo que se mostrará solo una de estas imágenes que por razones de políticas del HMQ se retiraron los encabezados y descripciones de la misma. Los resultados de esta prueba se puede observar en la Fig. 8.



Figura 9. Tomografía con Access Points

Una vez activado el Access Point y verificado que la Laptop funcione como un equipo de un empleado que utiliza los servicios del HMQ, se realiza la segunda prueba tomando una tomografía de la misma zona, estos resultados se observan en la Fig. 9. Como se observa en las Figs. 7 y 8 no existe una señal o distorsión de la imagen, esto se puede observar más claramente en los contornos de las figuras. Con esto se demuestra que a la distancia determinada por el estándar no se causa interferencia sobre el funcionamiento del equipo médico eléctrico. Se debe tomar en cuenta que para la realización de estas pruebas se hicieron en condiciones normales de funcionamiento del tomógrafo. En relación con el funcionamiento de los Access Points y la transmisión de datos con los mismos equipos se realiza una prueba sobre su

funcionamiento. Para realizar esta prueba se utilizó el programa “jperf-2.0.2” el cual permite generar tráfico y observar mediante gráficas el rendimiento del enlace entre dos equipos. La prueba fue realizada con el propósito de verificar que la transmisión de datos no sufra ninguna interferencia en el momento que se utiliza el tomógrafo. Como primer paso se realizó la transmisión de datos con el Tomógrafo apagado para tener un ejemplo de comparación.

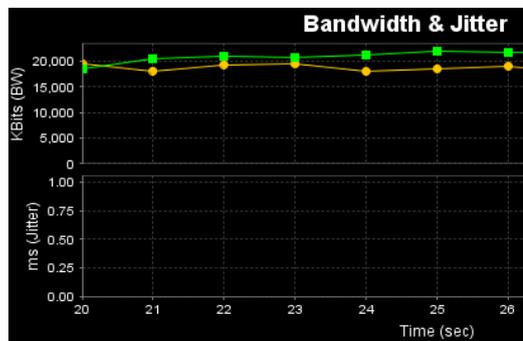


Figura 10. Prueba de transmisión de datos

Esta prueba se realizó enviando paquetes del cliente al servidor por un tiempo de 30 segundos, el primer caso es con el tomógrafo funcionando y la segunda sin funcionar. Como se observa en la Fig. 10 la disminución de la transmisión de datos es despreciable.

5 ANÁLISIS DE COSTOS Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

En esta sección se evaluó el costo total del proyecto para su implementación tal como lo indica un análisis de costos. Los puntos a analizar son:

- Costo red activa.
- Costo red pasiva.
- Costo de implementación.

Al ser un proyecto del cual no se obtendrá un beneficio económico directo, no se puede calcular la ganancia total que generará la inversión.

5.1 Selección de equipos

La red pasiva se refiere al cableado estructurado necesario para conectar a los equipos de la red activa, para estos elementos no se especifica una marca y se deja esta opción a las empresas que presenten cotizaciones.

Para la red activa entre las marcas CISCO y HP existe diferencia en varios campos como son la garantía, la cantidad de módulos SFP y el precio. Por motivo de que el precio de un equipo HP es menor que el de un equipo Cisco. Para la red pasiva que consiste en el cableado estructurado necesario para la implementación del proyecto; se pide a la empresa “Proveedor 1”, la misma que realiza todo trabajo de cableado dentro del HMQ que realice una inspección para determinar los elementos necesarios para su realización y además de una cotización. La empresa “Proveedor 1” como

ha realizado el sistema de cableado estructurado en la institución por más de 5 años, conoce todo el sistema de cableado existente y los requerimientos para la implementación de nuevas secciones del mismo. Para la realización de esta inspección se da a los técnicos mapas que poseen la ubicación de los nuevos Access Points para que determinen que canaletas utilizarán y que elementos son necesarios. Además se especifica a los técnicos que los enlaces deben ser con cable UTP categoría 6 y que necesario un enlace de fibra óptica mono modo entre Aesculapios y Bodega de Sistemas.

5.2 Costo implementación del proyecto

En lo referente a la red activa la mejor opción es la empresa “Proveedor 2”, debido a que ofrece el precio más bajo en comparación con otros Proveedores. Además que esta empresa ya vende los equipos a la institución y brinda soporte sobre los mismos mediante un contrato de mantenimiento. Para la adquisición de los elementos de la red pasiva se considera la mejor opción la empresa “Proveedor 1”, debido a su menor costo en relación a la realización del proyecto y debido a que ellos llevan un registro en cuanto al sistema de cableado ya existente por lo que su instalación se llevaría en un menor tiempo. Hay que aclarar que la instalación del cableado es parte de la cotización de la empresa “Proveedor 1” y que la configuración de los equipos la realizarán los operadores del departamento de sistemas por lo que tampoco tendrá costo. El costo final del sistema con estos dos proveedores se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Costo del proyecto

Descripción	Valor en dólares de EEUU
Red Pasiva	11661,96
Red Activa	22206,74
Configuración	2500
Diseño	3000
TOTAL	39368,70

6. CONCLUSIONES

Actualmente existen varios estándares para garantizar la seguridad y funcionamiento de EME. Estos estándares son muy específicos y ofrecen en algunos casos las distancias mínimas de seguridad para varios modelos que utilizan radio frecuencia. El estándar más utilizado por las empresas proveedoras de equipos médicos es el estándar IEC 60601:1 por lo que en los manuales de sus equipos se informa sobre su cumplimiento y las recomendaciones para su uso e instalación.

Muchas empresas que venden EME tienen poco conocimiento sobre las medidas de seguridad requeridas para sus equipos en presencia de una red inalámbrica; evidenciando que algunas empresas no tienen personal capacitado para ofertar e instalar adecuadamente equipos médicos en los hospitales del país.

Algunos equipos sensibles a radio frecuencia poseen apantallamiento para filtrar señales de radio frecuencia por lo que se debe hacer el análisis de los mismos; por ejemplo realizar los survey activos en presencia de una red inalámbrica.

Al momento de comprar los EME es recomendable preguntar a los técnicos de estas empresas que venden y dan soporte para EME; la capacitación de su personal ya que en conversaciones con algunos técnicos de estas empresas; informaron que en algunas ocasiones tuvieron problemas en el funcionamiento de los mismos, y que la solución que plantearon fue mover los equipos en vez de aplicar las recomendaciones de algún estándar de seguridad.

Cuando se sigue un estándar de seguridad de EME para realizar el diseño de una red inalámbrica se debe tomar en cuenta que para realizar el análisis se debe conocer que equipos de radio frecuencia se van a utilizar; con el fin de realizar los cálculos para obtener los valores de las distancias mínimas de seguridad que deben existir. Además se debe considerar que en muchas ocasiones los equipos médicos ya se encuentran instalados y no se los puede cambiar de lugar por sus dimensiones o restricciones de espacio físico.

Las empresas que compran estos equipos médicos generalmente tienen manuales que simplemente son de uso o de instalación básica. Es por eso mejor suscribirse siempre a las empresas fabricantes de estos EME para obtener toda la información necesaria relacionada principalmente a manuales; para una respuesta casi inmediata del fabricante es recomendable suscribirse a través del representante de las marcas que venden los EME aquí en el país.

Para algunos equipos la información requerida no existe en los manuales o es insuficiente para realizar un análisis adecuado; por este motivo a veces es necesario buscar la información de los módulos de generación de radio frecuencia que se venden como repuestos. Debe considerarse que estos módulos deben ser de la misma marca y utilizar los mismos transmisores de radio frecuencia.

Existen varios modelos de EME como los de resonancia magnética que necesitan un análisis especial; ya que al realizar los cálculos necesarios se determina que los Access Points no causan interferencia alguna, pero éstos pueden sufrir daños si se acercan a cortas distancias. Los Access Points no pueden acercarse a una distancia menor de 3 metros por la potencia del campo magnético generado por el equipo; pudiendo causar una interferencia o inclusive dañarlos si están a cortas distancias.

Para realizar los surveys activos en un Hospital se debe tomar en cuenta que existen áreas en las cuales es muy difícil acceder para realizar las pruebas; además hay que considerar que llevar a cabo esta tarea puede tardar demasiado tiempo; una mejor opción es utilizar programas de simulación que permitan ingresar los materiales de construcción con el área; como por ejemplo el programa “Interpret Air”.

Se recomienda realizar un estudio a nivel nacional en los Hospitales públicos y privados para determinar si aplican algún estándar de seguridad para la instalación y uso de sus equipos médicos y en caso de que no lo hagan proponer una normativa al Ministerio de Salud Pública para que obligatoriamente apliquen algún estándar de seguridad con el fin de salvaguardar la salud de los pacientes.

Es importante seguir realizando pruebas sobre los equipos médicos del HMQ para verificar que las especificaciones que colocan los fabricantes realmente las cumplen sus equipos; permitiendo aplicar de esta manera el estándar IEC 60601:1.

REFERENCIAS

- [1] “Analizador automático de partículas en la orina - UF-1000i - Instrucciones de uso”, Sysmex, Mayo 2006.
- [2] Anexo C Capa Física 802.11, Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Agosto 2008, Origen: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo352/exp/electivas/redesw/anexos/ANEXOC.pdf>.
- [3] “Cobas 6000 EN Diagnostics”, Roche Diagnostics GmbH, 2005.
- [4] “Cobas e 411 analyzer –Technical Specifications”, Roche Diagnostics GmbH.
- [5] “Cobas c 311 analyzer - Specifications”, Roche Diagnostics GmbH, 2009.
- [6] “Especificaciones técnicas del Elecsys 2010: analizador automático inmunoanálisis heterogéneo para hormonas (función tiroidea y hormonas), marcadores tumorales, perfil cardíaco y óseo, anemia, diabetes y hepatitis”, Roche Diagnostics GmbH, Marzo 2003.
- [7] GARG, Vijay K, “Wireless Communication and Networking”, Primera Edición, Morgan Kaufmann, 2007.
- [8] IEC 60601-1 Inf, Medical electrical equipment –Part 1: General requirements for basic safety and essential performance, Comisión Electrotécnica Internacional, Diciembre 2005.
- [9] IEC 60601-2, Equipos Electromédicos –Part 1-2: Requisitos Generales para la seguridad básica y funcionamiento esencial –Norma colateral: Compatibilidad electromagnética- Requisitos y ensayos, Comisión Electrotécnica Internacional, Marzo 2007.
- [10] IEEE Std 802.11™-2007 IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements, IEEE Computer Society, New York, Junio 2007.
- [11] IEEE Std 802.11n™-2009 IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems—Local and metropolitan area networks—Specific requirements, IEEE Computer Society, New York, Octubre 2009.
- [12] OLMEDO, Omar, “Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología WiFi, para proveer servicio de Internet a la parroquia de Mindo”, Quito – Ecuador, Septiembre 2010.
- [13] STALLINGS, Williams, “Wireless Communications”, Segunda Edición, Printice Hall, 2005.
- [14] “UNIVERGE® SV8500”, General Description Version 5. NEC, 2009, Origen: <http://www.bpr.su/common/docs/sv8500/UNIVERGE%20SV8500%20GD%20V5.pdf>.
- [15] “3Com Wireless 7760 11 a/b/g PoE Access Point - User Guide”, 3COM, Marzo 2006.