Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Analisis y Simulacion de Parametros de QoS para Brindar Servicios de Salud

TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS

NEREYDA CASTRO GUTIÉRREZ

Ensenada, Baja California, Mexico, septiembre del 2008

TESIS DEFENDIDA POR

Nereyda Castro Gutiérrez

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ:

Dr. Roberto Conte Galván
Director del Comité

Dr. Luis Armando Villaseñor González
Miembro del Comité

M.C. Raúl Rivera Rodríguez
Miembro del Comité

Dr. Jesús Favela Vara
Miembro del Comité

Dr. Arturo Serrano Santoyo
Miembro del Comité

Dr. Luis Alejandro Márquez Martínez
Coordinador del programa de posgrado en Electrónica y Telecomunicaciones

Dr. David Hilario Covarrubias Rosales
Director de Estudios de Posgrado

12 de Septiembre de 2008.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE PARÁMETROS DE QoS PARA BRINDAR SERVICIOS DE SALUD

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRA EN CIENCIAS

Presenta:

Nereyda Castro Gutiérrez

Ensenada, Baja California, México, Septiembre de 2008.

Resumen de la tesis presentada por **Nereyda Castro Gutiérrez**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **Maestría en Ciencias** en **Electrónica y Telecomunicaciones** con orientación en **Telecomunicaciones**. Ensenada, Baja California, México. Septiembre de 2008.

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE PARÁMETROS DE QOS PARA PROPORCIONAR SERVICIOS DE SALUD.

Aprobado por:

Dr. Roberto Conte Galván
Director de Tesis

El éxito de la implementación de sistemas enfocados a la proporción de servicios médicos a distancia, depende en gran medida de la calidad de servicio (Quality of Service, QoS) que las redes de comunicaciones son capaces de ofrecer en la transmisión de imágenes, audio, video o datos correspondiente a aplicaciones médicas. Entre la diversidad de especialidades médicas existentes, la cardiología es una de las que presenta más demanda de atención de acuerdo a estadísticas tanto globales como en México.

La transmisión de información relacionada a estudios médicos de cardiología presenta retos importantes cuando se requiere satisfacer ciertos niveles de calidad de servicio, al utilizar las tecnologías actuales de procesamiento y transmisión en tiempo real de estas señales biomédicas a través de redes de "mejor esfuerzo".

En este trabajo de tesis se analizan y simulan los parámetros de calidad de servicio, tales como retardo, variación del retardo o jitter, tasa de pérdida de paquetes (Packet Loss Rate, PLR) y caudal eficaz, que las redes locales de comunicaciones (LAN, por sus siglas en inglés) presentan en la transmisión de señales de audio cardiaco utilizando conexiones cableadas e inalámbricas. Estas señales fueron obtenidas mediante la auscultación de personas sanas con un estetoscopio digital.

La importancia de la evaluación de dichos parámetros recae en que la información médica es transportada a través de redes locales de "mejor esfuerzo", donde no existen políticas de diferenciación de tráfico ni garantía de QoS, lo cual influye directamente en la elaboración de diagnósticos médicos certeros. Además, se realiza una comparación de los parámetros de QoS entre los codificadores de audio G.711 y G.723.1, con el objetivo de sentar las bases para la elección de los mismos de acuerdo al tipo de aplicación médica que se requiera. Las contribuciones de este trabajo de investigación pueden considerarse como referencia para el diseño y la implementación de redes en ambientes hospitalarios para proporcionar servicios de Telecardiología.

Palabras clave: Calidad de servicio (QoS), telecardiología, redes locales, codecs de audio.

ABSTRACT of the Thesis of **Nereyda Castro Gutiérrez**, presented as a partial requirement to obtain the **MASTER in SCIENCE** degree in **ELECTRONIC AND TELECOMMUNICATIONS** with orientation in **Telecommunications**. Ensenada, Baja California, Mexico. September, 2008.

ANALYSIS AND SIMULATION OF QoS´s PARAMETERS TO PROVIDE HEALTH SERVICES

Approved by:

Dr. Roberto Conte Galván
Thesis Adviser

The success on the implementation of systems designed to bring remote medical services, depends on the Quality of Service that the communication networks are capable of offering on the transmission of medical images, audio, video or data corresponding to medical applications. Among the diversity of medical specialties, the cardiology is one of the most demanding of medical attention, according to global and national statistics.

The real time transmission of cardio medical information represents challenges when it requires certain levels of Quality of Service (QoS) using the existing technologies and processing methods through "best effort" networks.

This research work analyses and simulates the quality of service parameters such as, delay, "jitter", packet loss rate (PLR) and throughput, that local communication networks (LANs) present on the audio signals transmission, using wired and wireless connections. These signals were obtained from the auscultation of healthy people by means of a digital stethoscope.

The worth of the evaluation of such parameters remains on the lack of type of service differentiation and quality guarantee in the best effort networks that are object of research in this thesis and on the influence that can represent in hospital environments, where the medical diagnosis take place.

Besides, this work presents a comparison of the G.711 and G.723.1 audio codecs development in order to establish some references to recommend the cases on which they are more efficient to use depending on the medical application. The contributions of this thesis can be considered as a basis for the design and implementation of hospital networks to bring telecardiology services.

Keywords: Quality of service (QoS), telecardiology, local networks, audio codecs.

DEDICATORIAS

A mis padres

Eusebio Castro Arellano y María de los Angeles Gutiérrez Rosas

Son una inspiración en mi vida y me han impulsado siempre a realizar cosas importantes a pesar de los retos que ello implique. Gracias a ustedes me he convertido en la persona que soy. Este es un logro que sin su apoyo y amor no hubiera sido posible. Los quiero y los admiro.

A mis hermanos

Arístides y Jimena

Son uno de mis tesoros más grandes y estoy muy orgullosa de ambos, a pesar de la distancia siempre los tengo presentes junto a mi corazón.

Los quiero mucho maniuninis.

A mi novio

Arnulfo León Reyes

Eres una de las personas más importantes para mí, siempre he sentido tu apoyo a pesar de las pruebas difíciles que nos encontremos en la vida, gracias a esa unión que caracteriza a nuestro amor tan maravilloso.

Este es un logro de ambos corazón.

"Juzga tu éxito en función de aquello que has sacrificado para lograrlo"

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, gracias por su apoyo incondicional, siempre me han motivado a seguir adelante a pesar de los obstáculos que se presenten y me han inculcado valores muy grandes como la superación, la ética y la responsabilidad. Les agradezco enormemente por todo su amor y dedicación que siempre han tenido conmigo y con mis hermanos. Su comprensión y cariño siempre me ayudaron a sentir menos la distancia. **A mis hermanos** Aris y Jime, gracias por esos ánimos de siempre y por su cariño en todo momento, los quiero muchísimo.

A mi Weryn, por todo tu amor y apoyo a lo largo de este tiempo. Siempre me diste fuerzas y ánimos para seguir adelante en ocasiones donde las situaciones parecían muy complicadas. Te agradezco mucho la confianza que siempre tuviste en mí y en que lograra esta meta. Sabemos que la distancia nunca ha sido obstáculo para estar cerca uno del otro. Te amo corazón.

A mi asesor de tesis, **Dr. Roberto Conte Galván**, que me ayudó a tener otra visión de las telecomunicaciones en su aplicación a las necesidades de la sociedad y las oportunidades de desarrollo en la telemedicina. Gracias por brindarme su amistad, confianza y por siempre contagiarme de su optimismo.

A los miembros del comité de tesis: al **M.C. Raúl Rivera Rodríguez**, por sus consejos oportunos, motivación y confianza para lograr los objetivos de la tesis. Al **Dr. Arturo Serrano Santoyo**, por el interés en apoyarme siempre, así como la visión de emprendurismo hacia nuevas aplicaciones haciendo uso de la investigación científica. Al **Dr. Luis Armando Villaseñor González** por las críticas constructivas que siempre fueron de gran ayuda para un mejor desempeño. Al **Dr. Jesús Favela Vara** por sus observaciones que fueron de gran utilidad.

A mis nuevos grandes amigos, porque aquí, lejos de casa, me ayudaron a sentir menos la nostalgia, nos apoyamos en lo que pudimos siempre y formamos una linda amistad que valoro mucho y que espero que perdure en el futuro.

A mis amigas: **Silvia García Tobón**, gracias por la confianza y la ayuda desinteresada que me brindaste siempre comadrita; **Viridiana Gómez Barrón**, gracias también por tu apoyo en distintas situaciones y las divertidas que nos dimos vecinita. A ambas, las aprecio mucho, espero que esta amistad perdure con los años, también espero la edición especial del libro y la retita es opcional.

A mis amigos: **Obed Pérez Cortés**, gracias por brindarme tu confianza en las grandes pláticas que tuvimos y por la disposición a ayudar cuando se necesitó, espero que todo vaya bien capitán; **Oscar Eduardo Olivares Domínguez**, gracias por tu amistad y la ayuda que me brindaste también en parte de mi tesis, que todo salga bien Swivel. **Aldo Eleazar Pérez Ramos** y **Karina Velasco** les agradezco su amistad y los paseos que nos dimos, les deseo lo mejor a ambos.

A **Irwin Allen Díaz Díaz**, gracias por la ayuda prestada para realizar las pruebas de audio cardiaco, que fueron fundamentales para esta tesis, además de tu amistad sincera. También les agradezco por su amistad y apoyo en algún momento de mi estancia en Ensenada a **Joel y Erica Ruíz Ibarra**.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría.

CONTENIDO

Página

RESUMEN EN ESPAÑOL i

RESUMEN EN INGLÉS ii

DEDICATORIAS iii

AGRADECIMIENTOS iv

CONTENIDO vi

LISTA DE FIGURAS viii

LISTA DE TABLAS x

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN 1

I.1. Antecedentes 1
I.1.2. Telemedicina en México 2
I.1.3. Retos para el desarrollo de la Telemedicina 5
I.2. Planteamiento del problema 6
I.3. Objetivos 7
I.4. Metodología 7
I.5. Organización de la tesis 8

CAPÍTULO II

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES Y ASPECTOS NECESARIOS PARA SERVICIOS DE TELEMEDICINA 9

II.1. Descripción general del uso de tecnologías de comunicaciones para telemedicina 10
II.1.1.Tecnologías de acceso cableado 10
II.1.2 Tecnologías de acceso inalámbrico 12
II.2. Infraestructura hospitalaria necesaria para servicios de salud 14
II.2.1. Redes de Área Local (LANs) 14
II.2.2. Sistema de Videoconferencia 16
II.2.3. Periféricos médicos 17
II.3. Calidad de servicio (QoS) 18
II.3.1 Clasificación de QoS 19
II.3.2 Parámetros para medición de QoS 19

CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

II.4. Clasificación de información médica 21
II.5. Modos de transmisión 22

CAPÍTULO III

TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN DE ESPECIALIDADES MÉDICAS 25

III.1. Especialidades médicas con desarrollo en Telemedicina 25
III.1.1. Estándares y formatos para transmisión de información médica 27
III.2. Cardiología 29
III.2.1. Estudios médicos para consulta rutinaria 30
III.2.2. Estetoscopio digital 32
III.2.3. Características de audio cardiaco 34
III.3. Codificación y transmisión de audio 36
III.3.1. Codificación de audio 36
III.3.2. Codecs G.711 y G.723.1 40
III.3.3 Transmisión de audio 43

CAPÍTULO IV

ESCENARIOS Y MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE SERVICIO EN CARDIOLOGÍA 44

IV.1. Escenario de análisis 44
IV.2. Metodología 48
IV.3. Modelado de fuentes de tráfico 50
IV.3.1 Adquisición de audio cardiaco 50
IV.3.2. Fuentes de audio cardiaco 51
IV.3.3. Fuentes de tráfico de fondo 53
IV.4. Modelado de parámetros de QoS 55
IV.4.1. Retardo 56
IV.4.2. Jitter 57
IV.4.3. Tasa de Pérdida de Paquetes 57
IV.4.4. Tasa de datos 58

CAPÍTULO V

RESULTADOS DE EVALUACIÓN, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS 61

V.1. Consideraciones para la transmisión experimental de audio. 61
V.2. Resultados de mediciones experimentales 64
V.2.1. Comparación de retardo en conexiones cableadas. 64
V.2.2. Comparación de jitter en conexiones cableadas. 66
V.2.3. Comparación de retardo en conexiones inalámbricas. 68
V.2.4. Comparación de jitter en conexiones inalámbricas. 69

CONTENIDO (CONTINUACIÓN)

V.2.5. Comparación de pérdidas de paquetes (PLR) en conexiones inalámbricas...71
V.3. Consideraciones para la simulación de transmisión de audio 73
V.4. Resultados de la simulación de transmisión de audio cardiaco. 75
V.4.1. Comparación de retardo en simulación. 75
V.4.2. Comparación de jitter en simulación. 76
V.4.3. Comparación de porcentaje de pérdidas de paquetes en simulación. 77
V.4.4. Comparación del caudal eficaz en simulación. 78
V.5. Análisis de resultados entre conexiones cableadas e inalámbricas 79
V.5.1 Comparación de retardo entre conexiones cableadas e inalámbricas....80
V.5.2 Comparación de jitter entre conexiones cableadas e inalámbricas. 82
V.5.3 Comparación de PLR entre conexiones cableadas e inalámbricas. 83

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....85

VI.1. Conclusiones....85
VI.1.1. Diferenciación de información médica....85
VI.1.2. Redes locales de comunicaciones 86
VI.1.3. Codecs de audio 88
VI.1.4. Implementación de sistemas de Telemedicina....90
VI.2. Aportaciones....91
VI.3. Recomendaciones y trabajo futuro....92

REFERENCIAS....93

ANEXO A. ESTADÍSTICAS DE SALUD 96

ANEXO B. PRINCIPALES SONIDOS CARDIACOS....98

LISTA DE FIGURAS

Figura **Página**

1. Porcentajes de demanda de atención por nivel de atención. 4
2. Organizaciones involucradas para el programa eSalud en México. 5
3. Intervención de las TICs para atención médica. 9
4. Tipos de interfaz entre usuario y red RDSI. 10
5. Componentes de una red ADSL. 11
6. Red Ethernet. 12
7. Estructura de subredes LAN con conexión alámbrica. 15
8. Estructura de red LAN con conexión inalámbrica 16
9.Sistema de videoconferencia con periféricos médicos. 17
10. Algunos periféricos médicos más representativos. 17
11. Clasificación de QoS según ITU y ETSI 18
12. Modos de envío para aplicaciones de Telemedicina 23
13. Modelo general de Telemedicina 24
14. Porcentajes de mortalidad por tipo de enfermedad 29
15. Intervalo de frecuencias de tipos de audio. 32
16. Partes de un estetoscopio 33
17. Amplitud de las diferentes vibraciones de frecuencia en los tonos 34
18. Patologías observadas en los sonidos del ciclo cardiaco 35
19. Muestreo de una señal analógica. 36
20. Escenario de análisis para ambientes interhospitalarios. 45
21. Estructura de las redes de comunicaciones de CICESE 46
22. Topología considerada para transmisión con conexión cableada. 47
23. Topología considerada para transmisión con conexión inalámbrica. 48
24. Metodología para la obtención de resultados. 49
25. Espectro en frecuencia del ciclo cardiaco de una persona sana. 51
26. Comportamiento de fuente audio con el codec G.711. 52
27. Comportamiento de fuente audio con el codec G.723.1. 52

LISTA DE FIGURAS (CONTINUACIÓN)

Figura **Página**

28. Paquetes recibidos de una fuente de tráfico con distribución tipo Pareto. 54
29. Comportamiento del tráfico saliente y entrante de la subred LAN 55
30. Consideraciones para la medición del Retardo. 56
31. Consideraciones para la medición del Jitter. 57
32. Escenarios considerados para la evaluación experimental: 62
33. Aplicación JMStudio 63
34. Comparación de retardo utilizando conexión cableada. 65
35. Histograma de valores de retardo utilizando conexión cableada. 65
36. Valores de jitter para conexiones cableadas. 66
37. Distribución de valores de jitter utilizando conexión cableada. 67
38. Comparación de retardo utilizando conexión inalámbrica. 68
39. Distribución de valores de retardo utilizando conexión inalámbrica. 69
40.Comparación de jitter utilizando conexión inalámbrica. 70
41. Distribución de valores de jitter utilizando conexión inalámbrica. 70
42. Comparación del PLR utilizando conexión inalámbrica. 71
43. Distribución del PLR utilizando conexión inalámbrica. 72
44. Escenario de conexión considerado para simulación en NS2 74
45. Comparación de valores de retardo en simulación 75
46. Comparación de valores de jitter en simulación 76
47. Distribución de jitter en simulación. 77
48. Comparación de valores de porcentaje de pérdidas de paquetes en simulación. 78
49. Distribución del PLR en simulación. 78
50. Comparación de valores de caudal eficaz en simulación 79
51. Comparación de retardo utilizando codec G.711 81
52. Comparación de retardo para codec G.723.1 81
53. Comparación de jitter entre conexiones cableadas e inalámbricas para G.711. 82
54. Comparación de jitter entre conexiones cableadas e inalámbricas para G.723.1 82
55. Comparación de PLR entre conexiones cableadas e inalámbricas para G.711 84

LISTA DE TABLAS

Tabla		**Página**
I	Demanda de atención mundial de especialidades médicas.	26
II	Aspectos críticos para telemedicina por especialidad médica.	27
III	Modos para auscultación con estetoscopio.	35
IV	Codificadores de audio más comunes	40
V	Umbrales para Calidad de Servicio Aceptable en aplicaciones de audio	59
VI	Estadísticas de retardo utilizando conexiones cableadas.	66
VII	Estadísticas de jitter utilizando conexiones cableadas.	67
VIII	Estadísticas de retardo utilizando conexión inalámbrica.	69
IX	Estadísticas de Jitter utilizando conexiones inalámbricas.	71
X	Estadísticas para PLR utilizando conexiones inalámbricas	72
XI	Recomendaciones para el uso de los codecs G.711 y G.723.1	90

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

I.1. Antecedentes

Muchos países, especialmente países en desarrollo, carecen de recursos humanos suficientes en el área de la salud. En algunos de ellos existe un desequilibrio general en cuanto a las competencias necesarias para prestar servicios de salud de calidad. Las tecnologías de información y comunicación (TIC) pueden servir para mejorar sensiblemente los métodos de formación de los profesionales de la atención médica, gracias a programas específicos de ciberaprendizaje, así como también la eficacia de los servicios de salud, sobre todo en zonas donde no haya suficiente personal médico.

La generalización de las tecnologías de información y comunicación, en particular Internet y los teléfonos móviles, brindan la oportunidad de hacer llegar mensajes al público en los hogares, escuelas y lugares de trabajo. Esas tecnologías pueden servir para realizar actividades de educación y promoción sanitarias, seguir la evolución de enfermos crónicos y responder a solicitudes de información.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la Telemedicina como: "El suministro de servicios de atención sanitaria en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a tecnologías de la información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, preconizar tratamientos y prevenir enfermedades y heridas, así como para la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y de evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven" [OMS 1998].

Por otro lado, la cibersalud es un nuevo término utilizado para describir la utilización conjunta de tecnologías electrónicas de la información y la comunicación en el sector de la sanidad. La telemedicina, entonces, se considera como una parte de la cibersalud en la cual los sistemas de telecomunicaciones permiten la interconexión de médicos o médico - paciente entre zonas apartadas y el acceso a recursos distantes.

De esta manera, la telemedicina puede ser aplicada para brindar diferentes servicios de salud, tales como la telemonitorización, la teleeducación, telesalud, teleasistencia al hogar, etc.

I.1.2. Telemedicina en México

México al igual que otros países en el mundo, presenta problemas y limitaciones en cuanto a atención médica para la población debido a la escasez de recursos, el aumento en la demanda de servicios y la distribución centralizada de médicos y servicios. Aunado a este panorama está la gran extensión del país, las características accidentadas de su territorio, las dificultades geográficas y de comunicación.

La mayor parte de los recursos de salud se encuentran concentrados en las grandes ciudades y llevarlos al resto del país puede resultar muy difícil e incosteable. En este contexto, la Telemedicina tiene una importante contribución para brindar atención médica, sobre todo a aquellas zonas rurales o marginadas, disminuyendo la desigualdad en la provisión de servicios médicos generales y disminuyendo costos innecesarios en traslados para servicios de atención especializada. Estas estrategias pueden afectar sustancialmente la manera en que se proporcionan los servicios de salud, así como la distribución de los recursos humanos y materiales. A continuación se describen los niveles de atención de salud pública en México, con el objetivo de identificar la demanda de atención médica por sectores.

Niveles de atención médica

El sistema nacional de salud pública se encuentra organizado en niveles de atención médica para la población (Figura 1). Es importante conocer la distribución de las instituciones médicas, la clase de servicios que éstas brindan y el impacto que tienen en los sectores de la población para el correcto diseño de un sistema de telemedicina que sea eficiente en la atención a las necesidades de la sociedad.

El primer nivel de atención se conforma por las clínicas generales y hospitales comunitarios, incluidos los que se pudieran encontrar en zonas alejadas (ya sea geográfica o económicamente). Es en este nivel donde se atiende aproximadamente al 70% de la población. Los pacientes normalmente son atendidos por médicos generales o enfermeras.

El segundo nivel de atención corresponde a los Hospitales Generales de subzona, zona o región en los que se atiende al 27% de dicha población. Los pacientes que llegan a este nivel son remitidos por los servicios del primer nivel de atención debido a que requieren procedimientos diagnósticos, terapéuticos y de rehabilitación que no están disponibles en el primero.

El tercer nivel atiende a un porcentaje menor de población, alrededor del 2.7%. Es la red de hospitales de alta tecnología y máxima resolución diagnóstica-terapéutica. En este caso los servicios médicos para los pacientes, requieren un nivel más alto de especialización. Se cuenta con la participación de varios especialistas médicos de diversas áreas de la salud, para la solución de enfermedades o tratamientos específicos. En este nivel se realizan estudios de subespecialidades médicas, que en la mayoría de los casos necesitan equipo más sofisticado y de difícil acceso. Los pacientes que llegan a este nivel son remitidos por los hospitales de segundo nivel.

El más alto nivel de atención médica está conformado por los Institutos Médicos Nacionales, que se encargan de realizar investigación médica para resolver enfermedades

que no se solucionaron en los niveles anteriores o poco comunes en la población. Por lo tanto, solo un 0.3% de la población es trasladada o atendida en estos centros nacionales.

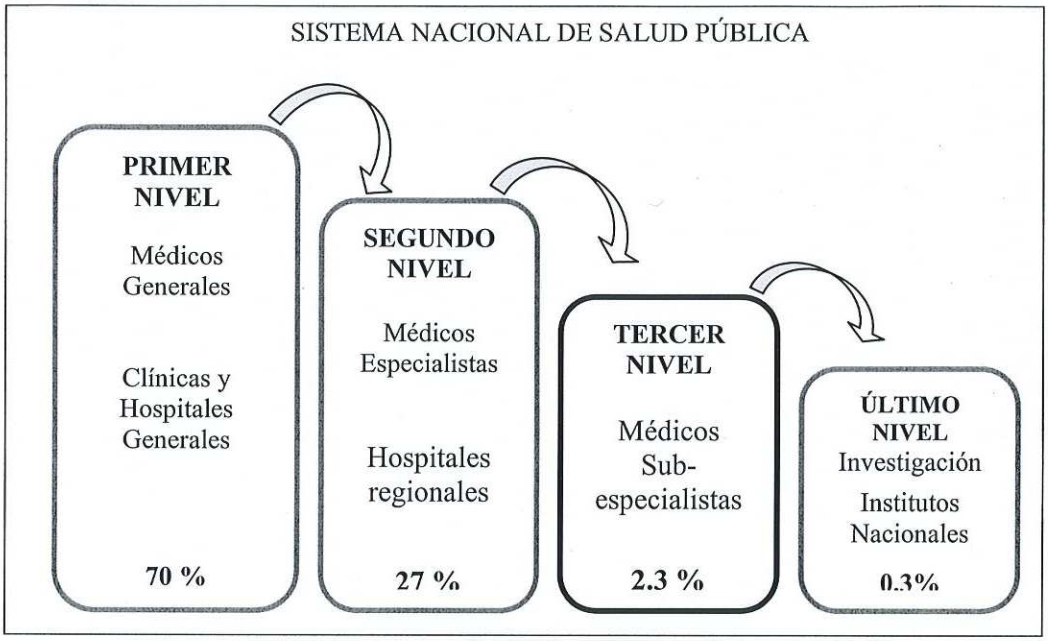


Figura 1. Porcentajes de demanda de atención por nivel de atención.

De acuerdo con la Secretaría de Salud, el país enfrenta un déficit de médicos y enfermeras y su distribución se considera el problema más grave: 50% de los médicos están concentrados en seis entidades (Distrito Federal, Jalisco, México, Nuevo León, Puebla y Veracruz) y el 51% de las enfermeras se concentran en cuatro entidades federativas (Chihuahua, Distrito Federal, Jalisco y México) [CENETEC, 2008].

Estrategias gubernamentales

El gobierno mexicano ha impulsado iniciativas para elevar el nivel de bienestar y de salud en la sociedad, mediante la integración de un sistema tecnológico y de contenido social llamado e-Salud [Secretaría de Salud, 2002]. Su objetivo es poner al alcance de toda la población mexicana información integral de salud, que contribuya al desarrollo humano y de las instituciones del sector salud, eliminando las barreras de acceso a la información y a los servicios de salud. En la figura 2 se muestran las principales instituciones y organizaciones que intervienen en el programa de eSalud.

Figura 2. Organizaciones involucradas para el programa eSalud en México. [Secretaría de Salud, 2002].

Programa Nacional de Salud

El objetivo del Programa Nacional de Salud PRONASA es crear las condiciones necesarias en México (legales, financieras y técnicas) para que en un mediano plazo el uso de los registros electrónicos de salud en el sector, sea bajo el uso de estándares y con mecanismos innovadores de administración de bases de datos y transferencias cruzadas [Secretaría de Salud, 2007].

A pesar de que en México ya se cuentan con iniciativas públicas para brindar servicios de Telemedicina, así como políticas públicas para el desarrollo de las TICs en esta área aún falta mucho por hacer. En esta área intervienen factores de diferentes áreas: sociales, tecnológicos, éticos, políticos y económicos, por lo que aún hay varios retos que cumplir para la eficiencia generalizada en los servicios médicos a distancia.

I.1.3. Retos para el desarrollo de la Telemedicina

El uso de las tecnologías de la información y las redes de comunicaciones sin duda ofrece grandes beneficios en diferentes aspectos. Entre los principales, se encuentran el impacto social al brindar servicios de salud de una manera más accesible, y la reducción de costos debido a traslados para atención médica especializada al usar redes de comunicaciones. Sin embargo, y a pesar de que la Telemedicina está teniendo un gran impulso debido a la tecnología es de vital importancia conocer el nivel de eficiencia que se brinda al usuario al aplicar un sistema de esta naturaleza, ya que el principal objetivo será siempre una atención médica de calidad.

Entre los retos para el éxito de un sistema de Telemedicina se deben considerar aspectos de conectividad entre usuarios y aspectos tecnológicos, legales y económicos. La elección de determinada tecnología se basará en la especialidad que requiera los estudios médicos y el tipo de información que se generen a partir de estos.

Además de las cuestiones tecnológicas, se debe considerar las cuestiones legales. Es necesaria la creación de normas y estándares nacionales para la provisión de servicios de Telemedicina no solo a nivel regional sino también nacional. Para ello se requiere una especificación precisa de los elementos de un sistema de Telemedicina, de los procedimientos para cada estudio médico de especialidad, de las consultas a distancia y de los procesos que debe llevar a cabo tanto el personal médico como el paciente. Además de aspectos de seguridad y confidencialidad de la información, así como estrategias de desarrollo en conjunto con los sistemas encargados de la salud pública y privada.

I.2. Planteamiento del problema

Uno de los retos más importantes de la Telemedicina, es el de brindar la más alta calidad de servicio posible. Para que esto sea posible, es necesario que la transmisión de la información médica a través de las redes de comunicaciones, no sea un obstáculo para la elaboración de diagnósticos y aplicación de tratamientos médicos para los pacientes.

Para asegurar una buena calidad, es fundamental la evaluación del desempeño de la tecnología y los medios de comunicación que en ella intervienen. A pesar de que existen diferentes dispositivos capaces de transmitir información médica sobre redes de comunicaciones, en ocasiones se utilizan tecnologías que no fueron diseñadas propiamente para aplicaciones de la salud. De esta manera, ya es posible enviar información para servicios de salud, aprovechando las redes de banda ancha y algunos estándares para envío de multimedios. Sin embargo, la tecnología actual en ocasiones no es capaz de sustituir el diagnóstico en persona debido a su calidad deficiente para ciertas especialidades médicas. Tal es el caso de la Cardiología, específicamente para el análisis

de sonidos cardiacos, donde se utilizan codificadores de audio que fueron diseñados para la digitalización de voz o para otros sonidos que no son precisamente cardiacos.
De acuerdo a lo anterior, la calidad podría verse afectada de manera distinta por el uso de codificadores, debido al comportamiento característico de los mismos al transmitir audio a través de una red local. Es por ello que surge el interés de analizar y comparar la calidad y desempeño de la transmisión de audio cardiaco utilizando dos tipos distintos de codificadores con características diferentes.

I.3. Objetivos

Evaluar y simular la transmisión de información médica a través de redes locales de comunicación con conexiones alámbricas e inalámbricas, para determinar la calidad de servicio para aplicaciones de cardiología utilizando determinados codecs de audio. Se pretende analizar, simular y evaluar los parámetros de QoS tales como Retardo, Jitter, Pérdida de Paquetes y Ancho de Banda en transmisiones de audio con los codecs G.711 y G.723.1. Para lo anterior, se buscará determinar las características, limitaciones y requerimientos de QoS sobre redes locales para aplicaciones de audio en cardiología.

I.4. Metodología

Para cumplir con los objetivos antes planteados, se tomarán las siguientes acciones:

* Realizar un análisis de las TICs aplicadas a especialidades médicas para brindar servicios de Telemedicina.
* Identificar los aspectos tecnológicos que son críticos para el desarrollo de la Telecardiología.
* Investigar y analizar las técnicas de adquisición de información cardiológica y los requisitos para su transmisión a través de redes de comunicación locales (LANs).
* Obtener grabaciones de audio cardiaco mediante un estetoscopio digital.
* Realizar la transmisión de audio grabado a través de redes locales, mediante conexiones alámbricas e inalámbricas.

* Simular las transmisiones de conexiones alámbricas mediante el software NS-2.
* Obtener los parámetros de calidad de servicio en las mediciones y simulaciones para la comparación del comportamiento de los codecs en estos escenarios.
* Análisis de resultados y emitir recomendaciones.

I.5. Organización de la tesis

En el capítulo 2 se explicará brevemente las características de las tecnologías de la información y comunicaciones (TICs) así como los aspectos tecnológicos que se requieren para un sistema de Telemedicina dentro de un hospital. Dentro de estos aspectos se menciona la importancia de la clasificación de la información médica que se genera a partir de dispositivos periféricos, los modos de envío en un sistema de videoconferencia que integre dicha información y los parámetros de calidad de servicio (QoS) necesarios para su evaluación.

En el capítulo 3 se describen algunas de las especialidades médicas más comunes para aplicaciones de Telemedicina, entre ellas la Cardiología. Asimismo, se explican los aspectos técnicos de la adquisición y transmisión de audio cardiaco, como son los codificadores-decodificadores (codecs) de audio y los protocolos de transporte.

En seguida, en el capítulo 4 se presentan los escenarios de redes, modelos de las fuentes de aplicación y aspectos de programación considerados para la evaluación y simulación de la transmisión de audio a través de redes locales.

Posteriormente, en el capítulo 5 se exponen los resultados obtenidos en el análisis y simulación de las transmisiones, evaluando y comparando los parámetros de QoS de los codecs seleccionados. Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones en relación a los objetivos planteados en esta tesis y las recomendaciones para un trabajo futuro en esta dirección.

Capítulo II

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES Y ASPECTOS NECESARIOS PARA SERVICIOS DE TELEMEDICINA

Debido a la gran demanda de servicios médicos en zonas donde no se tiene un fácil acceso a atención médica general o especializada, se ha buscado el apoyo de áreas tecnológicas para disminuir la brecha entre pacientes y proveedores de servicios médicos. Es así que los servicios de Telemedicina han tenido un desarrollo considerable en los últimos años gracias al gran avance de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs) en las que se basan. La variedad de aplicaciones que ofrecen estas nuevas tecnologías de transmisión de información y comunicación a distancia, han permitido grandes beneficios sociales por su aplicación directa en la población que los requieren. Las redes de comunicaciones son una parte esencial para el soporte de la transmisión de información médica, por lo que a continuación se describen brevemente algunas de las tecnologías y tipos de redes de comunicaciones así como los requerimientos necesarios para proporcionar atención médica a distancia. El diagrama de la figura 3 muestra de una manera gráfica la necesidad de que exista una retroalimentación siempre en función de la demanda de atención de calidad en los servicios médicos.

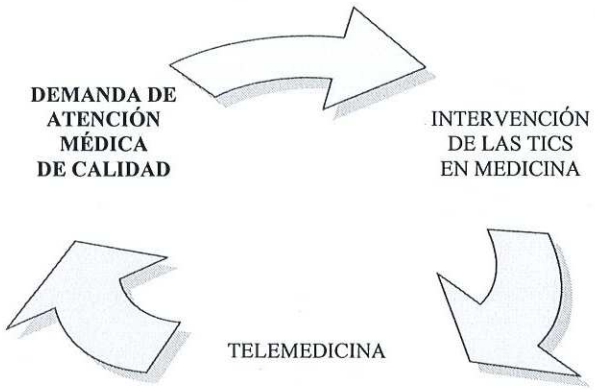


Figura 3. Intervención de las TICs para atención médica.

II.1. Descripción general del uso de tecnologías de comunicaciones para telemedicina

Ya sea de manera cableada o inalámbrica, existen diversos tipos de tecnologías que de acuerdo a sus características pueden ser o no aceptables para cada especialidad médica. A continuación se hace una breve descripción de sus aspectos técnicos generales.

II.1.1. Tecnologías de acceso cableado

Línea Telefónica Básica. (Public Switched Telephony Network: PSTN). Es una de las redes más extendidas a nivel mundial, de fácil acceso y bidireccional pero con limitado ancho de banda y bajas prestaciones por ser diseñada para la voz originalmente. Las frecuencias de operación están en el intervalo de 300 a 3400 Hz el cual es muy limitado para algunos servicios de Telemedicina; sin embargo se pueden realizar transmisiones en modo "Almacenamiento y Envío" para teleradiología y teledermatología.

Red Digital de Servicios Integrados, RDSI (Integrated System Digital Network: ISDN). Es la extensión digital de PSTN y posibilita ofrecer servicios de voz, datos y multimedia con buena calidad y pocas interferencias. Cada línea RDSI ofrece dos canales individuales, primario y básicos (Basic and Primary Rate Interfaces, BRI and PRI) con un flujo de bits garantizado de 64 kbps que no disminuye significativamente en función de la distancia. Este flujo de bits es suficiente para transmisiones audiovisuales con una calidad aceptable; bastan un canal B para telemonitoreo, dos para teleconsulta y de cuatro a seis para observación directa con el paciente [Martínez Ruiz, 2006]. En la figura 4 se muestran los canales básico y primario que están disponibles en este tipo de tecnología.

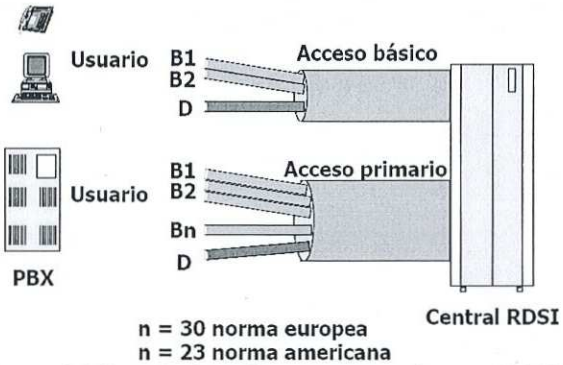


Figura 4. Tipos de interfaz entre usuario y red RDSI.

Línea de Acceso Digital (Digital Subscriber Line: DSL). Es una técnica de acceso digital de banda ancha, de gran velocidad, que trabaja sobre el par de cobre telefónico. Opera en frecuencias superiores a los 4 kHz por lo que no interfiere con los servicios de telefonía convencional de voz (bajas frecuencias). El término "asimétrico" en ADSL se refiere a que las tasas de transmisión del canal de bajada (considerado de la central al usuario) y del canal de subida (se considera desde el usuario a la central) no son iguales. En la tecnología ADSL se requiere de una Unidad Terminal ADSL Remota (ATU-R) y de una Unidad Terminal ADSL-Central (ATU-C). Adicionalmente se requiere de un "Splitter" para la coexistencia entre los servicios PSTN y ADSL, en la figura 5 se muestra la organización de estos componentes. Este tipo de líneas pueden ser apropiadas para servicios de telemedicina para asistencia domiciliaria y rural ya que son líneas de servicio dedicadas. Si se requieren comunicaciones bidireccionales se pueden usar tecnologías DSL simétricas para teleconferencias donde la transmisión será en tiempo real.

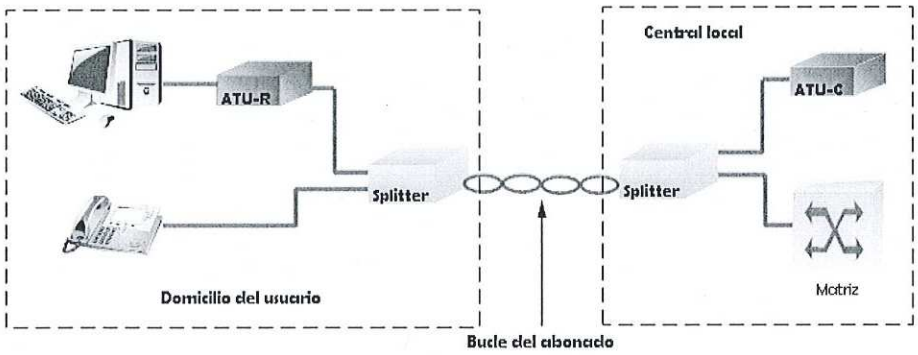


Figura 5. Componentes de una red ADSL.

Ethernet: Es una tecnología de transporte cableado generalmente para redes de área local (LAN) que puede ser utilizada para redes intrahospitalarias. Puede implementarse en cable coaxial, cable trenzado de cobre o fibra óptica. Es capaz de transmitir información a diferentes tasas como lo son 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps o hasta 10 Gbps. No proporciona un Ancho de Banda (AB) garantizado debido a que su caudal depende del estado de congestión presente en la red, y la calidad de servicio no está especificada. Sin embargo es una de las tecnologías más utilizadas para redes internas por su facilidad y bajos costos de instalación. En la figura 6 se muestra un ejemplo de topología de conexión física para una red local utilizando Ethernet.

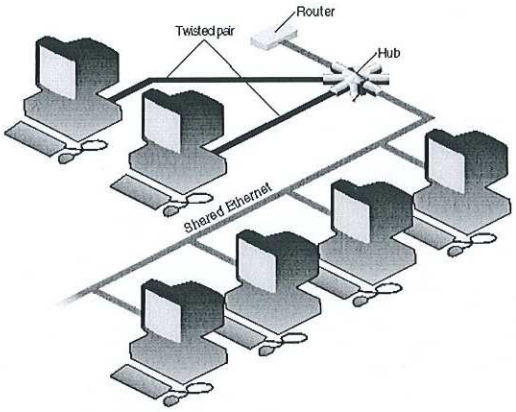


Figura 6. Red Ethernet.

II.1.2 Tecnologías de acceso inalámbrico

Acceso inalámbrico móvil: Es utilizada para transmisión de información a través de teléfonos celulares. Presentan una gran flexibilidad de recursos; gracias a su movilidad pueden ser útiles para servicios de emergencia médica o para atención de pacientes en casa. La tecnología GSM (Global System for Mobile Communications) permite transmisiones de 9.6 kbps y con prestaciones similares a las de PSTN. Las versiones posteriores permiten tasas de transferencia más elevadas, como GPRS (General Packet Radio Service) con 115-160 kbps, EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) con tasas de 384-473.6 kbps y UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) con tasas entre 384 kbps y 2 Mbps. UMTS resulta con ventajas para brindar servicios de salud en tiempo real de alta capacidad [Martínez Ruiz, 2006].

Acceso inalámbrico fijo: Con WLANs la red por sí misma es móvil y elimina la necesidad de usar cables y establece nuevas aplicaciones añadiendo flexibilidad a la red. Existen dos tecnologías de acceso que destacan dentro de este tipo, que son WiFi (Wireless Fidelity) y WiMax (Wireless Microwave Access).

De acuerdo al estándar IEEE 802.11b, WiFi permite tasas nominales de 11 Mbps, y 54 Mbps según el estándar IEEE 802.11a/g. Su alcance está limitado por la regulación que no permite una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) superior a 10 mW, opera en bandas de frecuenta libres por lo que tiene la ventaja de que no requiere de licencias para el uso del espectro de radio.

WiMax es un estándar de transmisión por ondas de radio de última generación orientada a la última milla que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio (estándares IEEE 802.16 o ETSI HiperMan). Ofrece total cobertura en áreas de hasta 48 km de radio y velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión de línea directa con las estaciones base.
Las anteriores, son tecnologías que se están aplicando actualmente en varias especialidades médicas para el uso de PDAs y dispositivos portátiles para monitorización dentro de hospitales o desde el hogar.

Bluetooth: Es una especificación que utiliza la tecnología de radio para proveer conectividad a Internet a bajo costo a computadoras portátiles, teléfonos móviles o otros dispositivos portátiles o para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre (2.4 GHz), sin embargo es para distancias cortas (un máximo de 100 m alrededor).

Acceso Satelital: Este tipo de tecnología es capaz de transmitir señales para servicios multimedios de voz, datos, televisión y video en prácticamente cualquier ubicación. Es sumamente útil en zonas rurales marginadas donde no hay acceso a otro tipo de tecnologías o redes alámbricas. Mediante el uso de VSATs (Very Small Aperture Terminal) pueden reducirse costos y obtener conectividad accesible en zonas alejadas. La velocidad de acceso depende del proveedor de servicio, típicamente se consideran tasas desde 64 kbps hasta 2 Mbps. Esta es una de las tecnologías más recomendables para zonas rurales marginadas, aunque muy costosa hasta la fecha. Su mayor problema es el retardo o latencia, ya que siempre habrá un retardo inherente por propagación debido a la distancia que tiene que viajar la información para ser transmitida.

II.2. Infraestructura hospitalaria necesaria para servicios de salud

Es necesario tomar en cuenta que se requieren varios aspectos para que se pueda llevar a cabo la captación, transmisión y recepción de información para servicios de Telemedicina. Los más comunes son los medios de comunicación (cables telefónicos o el enlace satelital), hardware y software necesario (computadoras e interfaces de aplicación), los periféricos médicos, personal técnico y médico capacitado, así como la evaluación de la calidad de servicio, entre otros.

En las redes hospitalarias pueden existir varios objetivos de comunicación. Tal es el caso del envío de información entre médicos dentro del mismo edificio: estudios realizados en diferentes alas de especialidad para ser consultadas por otro médico que no se encuentre presente en la consulta (segunda opinión); comunicación entre hospitales de diferente nivel de atención, o entre el hogar del paciente y su clínica u hospital correspondiente.

A través de LANs y redes de circuitos conmutados, junto con protocolos de Internet, se puede crear una Internet "privada". Una red interna se construye usando los protocolos TCP/IP para comunicación de Internet, que pueden aplicarse en muchas de las plataformas de hardware y en proyectos por cable. También se incluyen aplicaciones que combinan protocolos TCP/IP con protocolos UDP para servicios en tiempo real. La combinación de estos protocolos genera tráfico intermitente que pudiera congestionar los dispositivos de memoria (buffers) de los enrutadores en la red. Por ende, además de la infraestructura de red, es necesario realizar un estudio de Calidad de Servicio (QoS) y evaluación del desempeño del equipo periférico que interviene en la adquisición de información médica, para que la comunicación sea eficiente y cumpla con la finalidad de un correcto diagnóstico.

II.2.1. Redes de Área Local (LANs)

Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de hasta 100 metros. Su aplicación más extendida es la interconexión de computadoras personales y estaciones de trabajo, así como la posibilidad de compartir dispositivos periféricos como impresoras o escáner, entre otros. Esta es una ventaja para aplicaciones de telemedicina intrahospitalaria, ya que los equipos periféricos médicos son generalmente muy costosos y se pueden reducir costos al tener acceso compartido a ellos. Entre las características

más importantes de las redes locales se encuentra la utilización de protocolos de enrutamiento en modo broadcast para transmitir la información a distintas estaciones de trabajo de manera simultánea y rápida. Su capacidad de transmisión alta (desde 1 Mbps hasta 1 Gbps) es posible ya que es un medio de comunicación diseñado de acuerdo a las necesidades del usuario. Su instalación es relativamente sencilla y se puede modificar fácilmente, además de que existe la posibilidad de comunicarse con otras redes similares.

En la implementación de redes LAN, Ethernet es una de las tecnologías que se utiliza comúnmente. Las ventajas de Ethernet se deben a la relación entre velocidad de transmisión, costo y complejidad de la instalación, los cuales son accesibles. Además del auge que esta tecnología ha tenido en el mercado y la versatilidad a la hora de soportar numerosos protocolos. Actualmente está dejando paso a la tecnología Fast Ethernet (IEEE 802.3) que alcanza velocidades entorno a los 100 Mbps realizando las modificaciones en el cableado pertinentes. Otros tipos de LAN son la "Fiber Distributed Data Interface" (FDDI) y la "Asynchronous Transfer Mode" (ATM), entre otras. En las figuras 7 y 8 se muestran ejemplos de la estructura de redes locales cableadas e inalámbricas respectivamente.

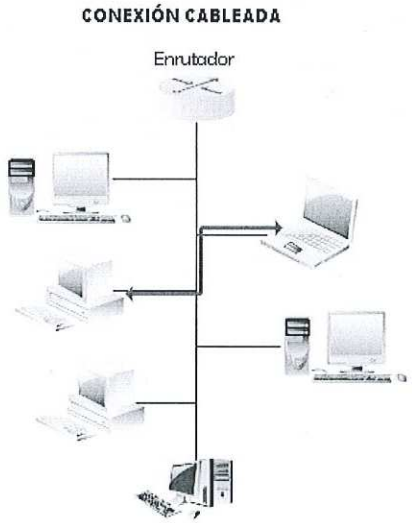


Figura 7. Estructura de subredes LAN con conexión alámbrica.

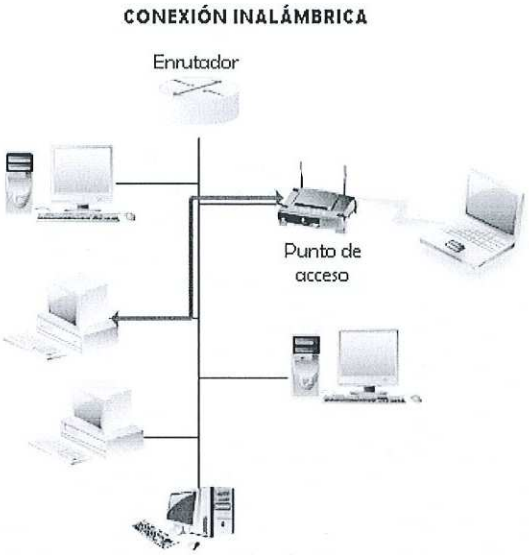


Figura 8. Estructura de red LAN con conexión inalámbrica

II.2.2. Sistema de Videoconferencia

La videoconferencia interactiva entre dos estaciones de trabajo es una de las tecnologías básicas para Telemedicina en la modalidad de transmisión "síncrona" con intercambio de información en tiempo real. Se utiliza típicamente para consulta entre un médico de primer nivel de atención y un médico especialista de segundo nivel, o para teleconsulta en áreas rurales entre el médico general o especialista y el propio paciente. Esta comunicación se realiza en tiempo real, ya sea por vía telefónica o vía Ethernet, y se transmite tanto la imagen como el sonido, en ambos sentidos. Casi todas las especialidades médicas pueden hacer uso de esta tecnología, por ejemplo en psiquiatría, medicina interna, rehabilitación física, cardiología, pediatría, obstetricia, ginecología, entre otras, con la inclusión de los periféricos médicos apropiados.

Una recomendación básica es la utilización de equipos que cumplan con las normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, ITU por sus siglas en inglés (International Telecommunications Union). Para el caso de esta tesis se considerará la recomendación ITU-H.323, que es utilizada para aplicaciones de videoconferencia.

La transmisión de video y de imágenes de alta resolución presenta las mayores exigencias de ancho de banda para tener una comunicación en tiempo real. Análisis prospectivos ven en Internet (redes TCP/IP) la infraestructura que servirá de soporte universal común para

aplicaciones de Telemedicina por videoconferencia. Para su implementación será necesario garantizar velocidades de trabajo suficientes, y que cumplan con la calidad de servicio (QoS) acordada. En la figura 9 se muestra un sistema de teleconferencia general con dispositivos periféricos.

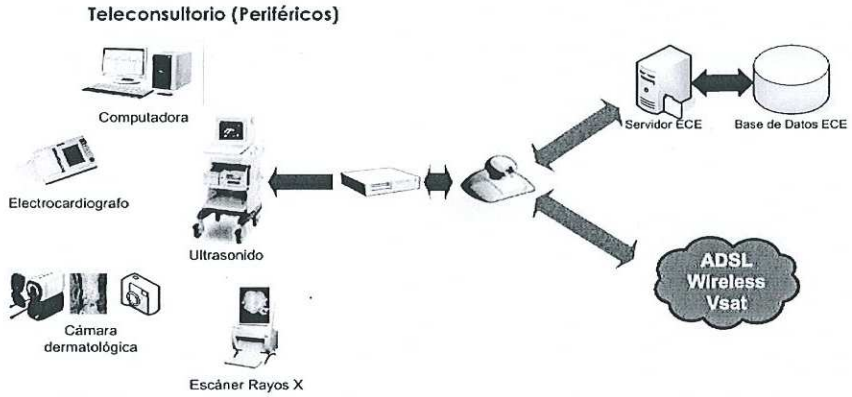


Figura 9 Sistema de videoconferencia con periféricos médicos.

II.2.3. Periféricos médicos

Es necesario que se cuente con periféricos médicos para cada uno o para la mayoría de los estudios de especialidad médica. Estos dispositivos son capaces de extraer la información médica en un formato digital para su envío en tiempo real o posterior, ya sea a través de un sistema de videoconferencia en tiempo real, o por otro medio en modo asíncrono. Existe una amplia variedad de dispositivos electrónicos para diversas especialidades médicas. Así, se tienen dispositivos periféricos para Cardiología, Dermatología, Radiología, Ginecología, Patología, etc. En la figura 10 se muestran algunos de los periféricos más comunes.

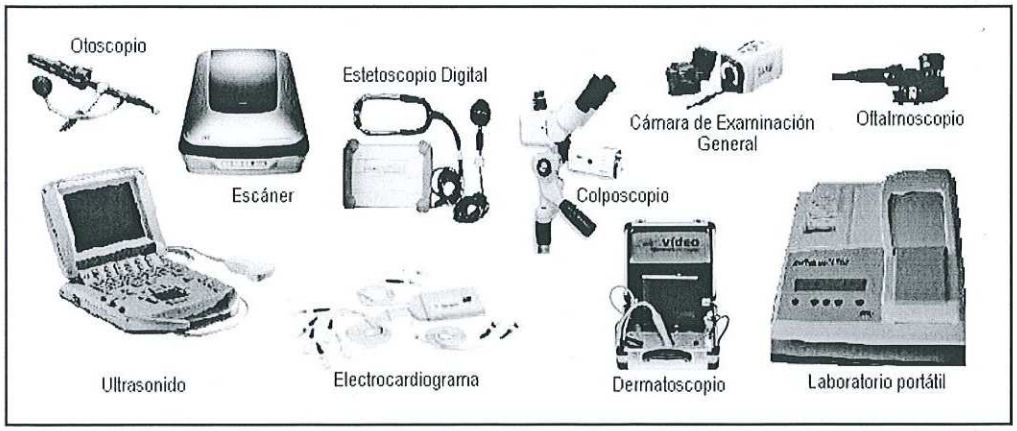


Figura 10. Algunos periféricos médicos más representativos.

II.3. Calidad de servicio (QoS)

Existen diversas definiciones de la calidad de servicio en las redes de comunicaciones, entre las cuales, se encuentran las establecidas por la ITU, que define la Calidad de Servicio como: "El efecto global de las prestaciones de un servicio que determinan el grado de satisfacción de un usuario al utilizar dicho servicio" [ITU E.800]. Por otro lado, la definición del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (European Telecommunication Standards Institue, ETSI) considera la calidad de servicio como "El conjunto de requisitos del servicio que debe cumplir la red en el transporte de un flujo" [IETF RFC 2386]. La figura 11 representa las consideraciones para la calidad de servicio de la ITU, el ETSI y el IETF. Atendiendo a las dos definiciones, en este trabajo de tesis se centrará el análisis de calidad de servicio en los parámetros de QoS obtenidos por el desempeño de la red de comunicaciones, los cuales se explicarán más adelante. La evaluación de estos parámetros permite conocer el nivel de degradación que sufre la información médica cuando se transporta a través de las redes de comunicaciones. Además, permiten establecer umbrales de tolerancia a dicho deterioro, el cual impactará finalmente en el usuario en la apreciación de información multimedia utilizando sistemas de telemedicina.

Esta degradación en el servicio puede presentarse debido a las limitaciones de los recursos del enlace extremo a extremo. La degradación en la calidad de servicio, tanto en la adquisición de la información como en la transmisión de la misma, repercute directamente en la salud de los pacientes, ya que dicha información será utilizada para la generación del diagnóstico o para la aplicación del tratamiento médico. Por lo tanto, es de suma importancia el análisis del desempeño de los dispositivos periféricos, así como la influencia de las redes de comunicaciones utilizadas para aplicaciones médicas.

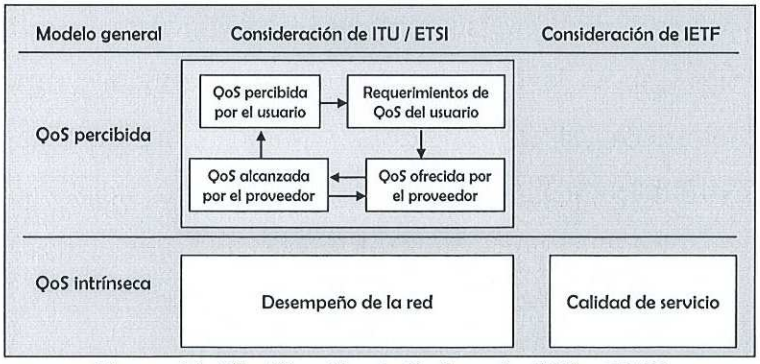


Figura 11. Clasificación de QoS según ITU y ETSI

II.3.1 Clasificación de QoS

Una alternativa a parámetros técnicos para la evaluación de la calidad de servicio es el modelo subjetivo Nota Media de Opinión (Mean Opinion Score, MOS) desarrollada por la ITU en la recomendación P.800 [ITU, 1996]. La cual indica en una escala de 5 valores para el nivel de satisfacción del servicio percibido por el usuario final. La MOS es calculada tomando el promedio numérico entre puntajes dados por un jurado utilizándolo como un indicador para medir la calidad de un sistema. En este trabajo de investigación se analizarán únicamente los parámetros técnicos de calidad de servicio que se describen en el siguiente apartado.

II.3.2 Parámetros para medición de QoS

En el análisis de esta tesis se considerará la evaluación de QoS mediante la comparación de parámetros de QoS en la transmisión de información médica tales como Retardo, Variación del retardo (Jitter), Pérdida de Paquetes y Ancho de Banda (AB). Estos parámetros se describen brevemente a continuación:

Retardo: El tiempo que tarda un paquete en viajar de extremo a extremo (desde que se transmite hasta que se recibe). El exceso de retardo ocasionaría que el receptor ignore los paquetes, lo que resultaría en uso ineficiente del ancho de banda. El retardo se compone de la suma de los retardos por codificación, procesamiento, acceso al medio, buffering y propagación de la información. La tolerancia de ciertos niveles de retardo se determina en función de la clasificación de servicios que se requieran, por ejemplo en tiempo real o para almacenamiento y envío, como se detallará más adelante. Este es un parámetro que afecta principalmente a las aplicaciones de tiempo real de audio donde se necesitan niveles pequeños de retardo para tener una calidad aceptable de la información.

Variación del retardo o Jitter: El Jitter es un problema típico de las redes no orientadas a conexión o redes de conmutación de paquetes. Debido a que la información es dividida en paquetes, cada uno de ellos puede viajar a través de la red por diferentes trayectorias desde el emisor al receptor. El Jitter básicamente es la variación del retardo entre paquetes consecutivos. La calidad del desempeño de las aplicaciones de audio en tiempo

real se ven afectadas frecuentemente por este efecto. En general este es un problema de enlaces de baja velocidad o de problemas de congestión en la red, por lo tanto influye en el tamaño de las colas de espera. Este problema puede ser solucionado con la utilización de buffers con prioridad, aumentando la velocidad de la conexión o mediante reservación de recursos.

Tasa de Pérdida de paquetes (Packet Loss Rate, PLR): Es consecuencia de la congestión por tráfico de la red, y está relacionado con el retardo de la red, ya que para aplicaciones en tiempo real (donde no hay retransmisiones), al exceder los tiempos de espera, los paquetes son descartados. Una solución sería disminuir el tráfico que compite por el enlace mediante avisos de reducción de la tasa de transmisión en el nodo fuente. Este parámetro se calcula por la probabilidad de pérdida de información en función del total de información enviada. El PLR es decisivo en la evaluación de calidad de servicios médicos, ya que influye directamente en la confiabilidad de la información para realizar un diagnóstico correcto.

Tasa de datos: Se puede considerar como la velocidad a la que se transmite cada bit de la información médica, las fuentes de información. Es importante notar la diferencia entre esta tasa y el ancho de banda, el cual se refiere a los recursos de capacidad utilizables en un momento dado por las aplicaciones que comparten el enlace de comunicaciones.

Caudal eficaz: Es la tasa efectiva de la transmisión de datos del usuario. Es la relación entre la cantidad de bits recibidos y los transmitidos, en función del tiempo. Este parámetro depende de la aplicación que se utilice, la tecnología de red de soporte y de los valores de pérdida y retardo.

En términos generales para obtener un buen nivel de calidad de servicio se requiere: Eliminar la pérdida de paquetes, reducir el retardo, disminuir el Jitter, maximizar la disponibilidad de ancho de banda y optimizar el caudal eficaz.

II.4. Clasificación de información médica

Para aplicaciones de Telemedicina es necesario diferenciar los tipos de información médica que se evaluarán. Tal como se especifica en [García Mendoza, 2007] existen distintos umbrales para los parámetros de calidad de servicio asociados a ciertas subespecialidades médicas. Además, cada una de ellas recurre a diversos estudios clínicos, donde el tipo de información que se maneja influirá en los requerimientos necesarios para la transmisión confiable de la misma. Es así como la información médica se puede clasificar de manera general en los siguientes tipos.

Archivos de texto: Estos no suelen requerir grandes cantidades de almacenamiento o tasas de transmisión (por lo general se tienen decenas de kB y decenas de kbps respectivamente). Se pueden modelar de diferentes maneras, el transporte de este tipo de información normalmente se considera con las siguientes aplicaciones: FTP (File Transfer Protocol) para la transmisión y recepción de archivos, HTTP (HiperText Transfer Protocol) para transferencia de hipertexto para acceso a Internet, SMTP (System Network Management Protocol) para la gestión de equipos de redes, así como consultas de bases de datos. Es en este tipo de información donde se incluye el Expediente Clínico Electrónico, correos electrónicos, datos generales de signos vitales en forma textual, y aplicaciones.

Imágenes Fijas o Biomédicas: Son las imágenes o información médica obtenida del cuerpo del paciente por medio de alguno de los periféricos mencionados anteriormente. En este tipo se incluyen radiografías, tomografías, electrocardiogramas, ecografías e imágenes de ultrasonido. El modelado de este tipo de fuentes de información puede ser de tasa contante o variable dependiendo del tipo de señal médica. Se observan en aplicaciones de Radiología, Dermatología, Oftalmología o Ginecología, entre otras.

Fuentes de Audio: Las señales de audio analógicas se pueden codificar de diversas formas para su envío a través de las redes de comunicaciones, lo que resulta en una variedad de tamaños de archivos dependiendo de las técnicas de compresión utilizadas por codificadores para su transmisión. En el caso de aplicaciones de telemedicina es

importante diferenciar entre la voz humana y otro tipo de señales de audio debido a que se pueden incluir en este tipo de información estudios clínicos de cardiología y neumología, donde evidentemente se tiene un comportamiento y frecuencias diferentes a las de la voz humana.

Voz Humana: Las frecuencias en las que opera la voz humana son entre 200Hz y 3.1kHz. Las características de la voz se representan con ráfagas de habla, entre las cuales existen intervalos de silencios. La transmisión de voz digital presenta diferentes niveles de calidad dependiendo la técnica que se utilice. Este tipo de audio se presenta en aplicaciones de videoconferencia entre médicos, teleconsulta y telepsiquiatría por ejemplo.

Audio biomédico: Se caracteriza por tener intervalos más cortos de silencio y operar en frecuencias diferentes a la voz de acuerdo al tipo de estudio médico que se realice. Es importante considerar que, si bien se usan los mismos codificadores de audio por no haber otros diseñados específicamente para este tipo de aplicaciones, los patrones de comportamiento son diferentes. Representan principalmente aplicaciones de Cardiología, Neumología y Ginecología.

Video: El vídeo se compone de secuencias temporales de imágenes fijas o frames. Las fuentes de video son variables y presentan redundancia espacial y temporal debido a las técnicas de compresión usadas por los codificadores. Por lo regular requieren de redes con gran capacidad de ancho de banda para aplicaciones principalmente de videoconferencia o video de ultrasonido. Normalmente incluyen audio, por lo que es importante también el uso de tecnologías síncronas para obtener una buena calidad para su uso en aplicaciones de Ginecología, Psiquiatría y Patología entre otras.

II.5. Modos de transmisión

En aplicaciones de telemedicina normalmente se usan dos modalidades para transmitir imágenes, datos y sonido. Uno de los modos es la transmisión en tiempo real, donde el profesional médico participa en la examinación del paciente "en vivo" utilizando en ese instante la información biomédica generada por periféricos. El segundo modo es la

generación de la información médica para su envío posterior (Almacenar y Enviar) para que el médico especialista la analice incluso sin el paciente presente. De esta manera, se pueden distinguir dos modos de operación básicos para la transmisión de información médica, que son:

Modalidad de envío en tiempo real, o modo síncrono. Requiere el establecimiento de agendas conjuntas y la disponibilidad simultánea de los médicos, pacientes y demás personal que estén involucrados en la sesión.

Modalidad en tiempo diferido, o modo asíncrono. También conocido como de "Almacenar y Enviar". Se utiliza típicamente en situaciones que no son urgentes, en los que un diagnóstico o una consulta se pueden realizar de forma diferida en minutos u horas, y el envío de información puede ser, por ejemplo, por correo electrónico. Esta modalidad es la más comúnmente utilizada.

La Figura 12 muestra un diagrama a bloques de las modalidades de envío de información médica en sistemas de telemedicina.

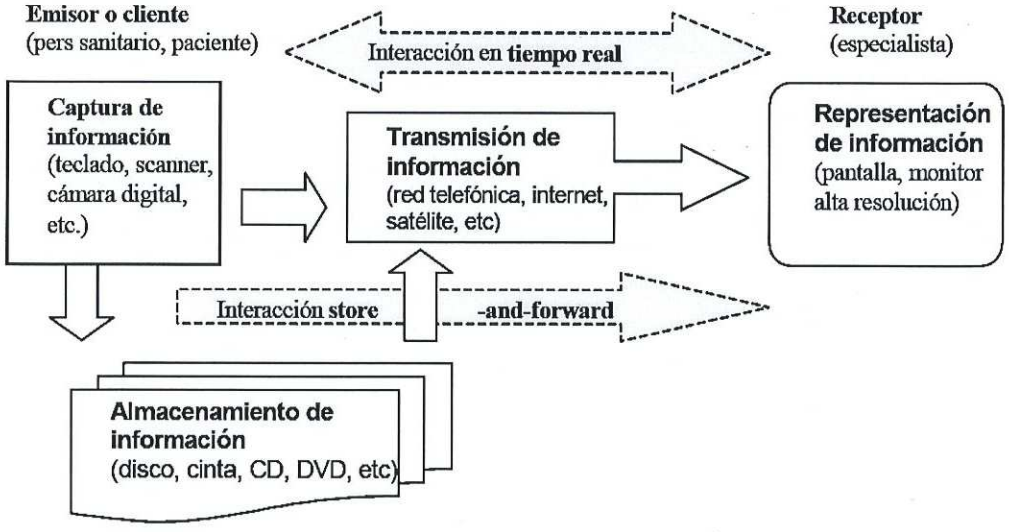


Figura 12. Modos de envío para aplicaciones de Telemedicina

La Figura 13 resume de manera conceptual un modelo de telemedicina con la clasificación de aplicaciones, tráfico y modos de envío de un sistema de Telemedicina.

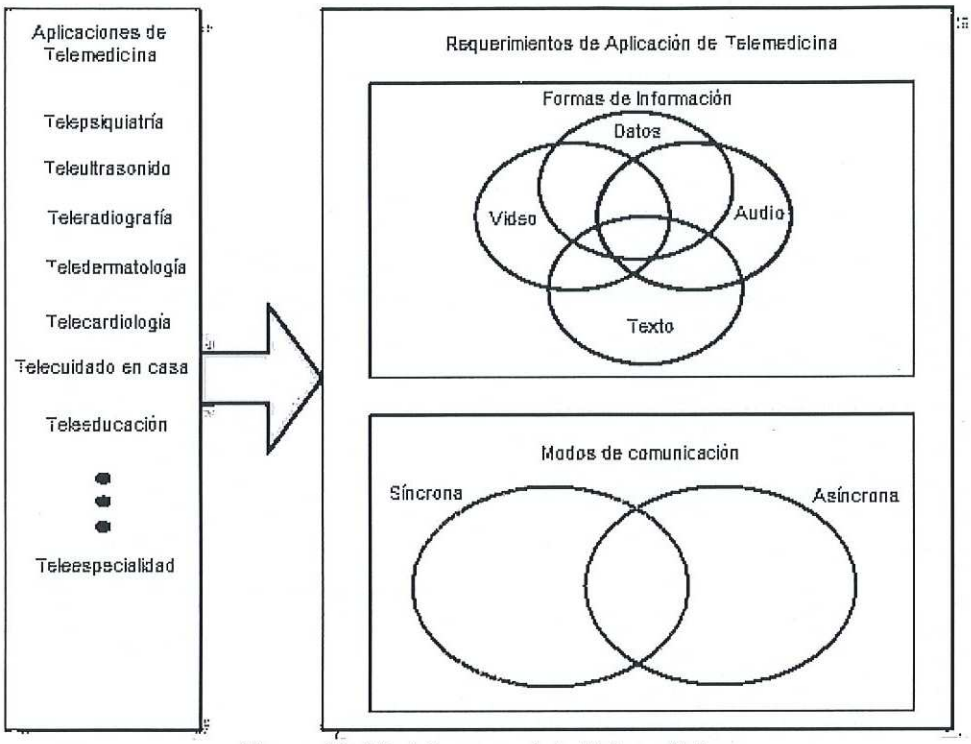


Figura 13. Modelo general de Telemedicina

En este capítulo se describieron brevemente las tecnologías de comunicaciones que intervienen en el envío de información a través de las redes de comunicaciones con el objetivo de presentar las ventajas que poseen en su aplicación a la telemedicina. Posteriormente se explicó la infraestructura hospitalaria necesaria incluyendo la videoconferencia y dispositivos periféricos para la adquisición información médica, así como los tipos de conexiones que se pueden elegir en redes locales para su aplicación en hospitales. A su vez, se enfatizó la importancia de la evaluación de la calidad de servicio en la transmisión de información médica, debido a su influencia directa en los usuarios finales, y se plantearon los parámetros de calidad de servicio que se evaluarán en esta tesis. Finalmente se describieron los modos de transmisión, los cuales dependen del tipo de información que se envíe. Tal clasificación es fundamental para establecer los criterios de evaluación de la calidad de servicio, mediante los parámetros técnicos descritos anteriormente, los cuales también son influidos por el tipo de estudio de cada especialidad médica. Por lo tanto, en el siguiente capítulo se describen algunas de las especialidades médicas más representativas continuando con los aspectos críticos de la información de cardiología.

Capítulo III

TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN DE ESPECIALIDADES MÉDICAS

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, es importante conocer la clasificación de los servicios médicos que harán uso de la Telemedicina. En base a las necesidades de cada una de las especialidades médicas, se requerirán diversas clases de estudios, generación de información biomédica, así como el establecimiento de umbrales a partir de los cuales se puede considerar un nivel de calidad de servicio aceptable para una atención médica eficiente. En este capítulo se describen las diferentes especialidades médicas que han incursionado en aplicaciones a distancia y los aspectos tecnológicos que son críticos para el desarrollo de las mismas. Se presentan también las razones por las cuales se eligieron aplicaciones en el área de Cardiología como objeto de estudio para esta tesis. Posteriormente, se describen las particularidades del audio cardiaco, así como los requisitos para su transmisión a distancia en forma digital.

III.1. Especialidades médicas con desarrollo en Telemedicina

A nivel internacional se detecta una proliferación de las telecomunicaciones en iniciativas públicas y privadas, que en los últimos tiempos se han extendido bajo la gran ola de Internet, el despliegue y mejora de acceso a servicios de telecomunicaciones al hogar (ADSL, radio, celular, cable) y el impulso político en algunos países con programas sociales específicos. Las variaciones existentes entre los diferentes sistemas de salud pública y privada, así como las características sociales y culturales de cada país o región, imponen requerimientos específicos en cuanto a las necesidades de atención médica.

Por lo anterior, es de suma importancia diseñar programas de Telemedicina que consideren ciertos indicadores sociales, tales como los índices de desarrollo humano e

índices de mortalidad por región. Este análisis influirá en la elección de las tecnologías de telecomunicaciones para asegurar la conectividad entre comunidades u hospitales, así como el establecimiento de las prioridades de atención que presente cada región. Para que un sistema de telemedicina sea autosustentable, debe satisfacer realmente las necesidades médicas de atención al paciente remoto, y con ello lograr la reducción de costos por traslado para consultas de especialidad utilizando el equipo médico adecuado.

En la Tabla I se muestran datos del rango de aplicaciones por especialidades en Europa que, como ocurre mundialmente, está liderada por las aplicaciones en radiología y cardiología [Monteagudo, 2005].

Tabla I. Demanda de atención mundial de especialidades médicas [Monteagudo, 2005].

ESPECIALIDAD	DEMANDA MUNDIAL
Radiología	16%
Cardiología	11%
Atención primaria-especializada	10%
Neuro-radiología	8%
Patología	8%
Dermatología	7%
Cirugía	6%
Otras	34%

Cada especialidad médica presenta aspectos técnicos únicos que son críticos para alcanzar un nivel de desarrollo que facilite la atención médica a distancia. Si bien las especialidades de radiología y patología cuentan con el mayor adelanto, las otras especialidades se encuentran en continuo desarrollo para ofrecer servicios médicos a lugares remotos. La continua evaluación y el perfeccionamiento de las TICs permitirán ofrecer servicios de calidad cada vez más alta en todas o la mayoría de las especialidades médicas. A continuación en la Tabla II se resume los aspectos tecnológicos que se consideran críticos para el desarrollo de las especialidades médicas más representativas en telemedicina, así como el nivel de madurez que tienen actualmente.

Tabla II. Aspectos críticos para telemedicina por especialidad médica.

ESPECIALIDAD MÉDICA	ASPECTOS CRÍTICOS	NIVEL
Radiología (Imagenología)	PACS, DICOM Resolución de imágenes Tx síncrona en tiempo real	**MADURO**
Patología	Interacción en tiempo real Resolución espacial y temporal	
Dermatología	Sensibilidad en el color de las imágenes en envío síncrono y asíncrono	**EN DESARROLLO**
Cardiología	Envío de ECG en tiempo real Audio de estetoscopio confiable	
Oftalmología	Imagen de distorsiones en la córnea	
Psiquiatría	Video en tiempo real	
Pediatría	Calidad en las imágenes y audio	

El nivel de madurez está estrechamente relacionado con el nivel de calidad que se proporcione mediante el uso de la tecnología, tanto en adquisición de información como en la transmisión de la misma. La clasificación de la información facilita la identificación de las posibles mejoras que se necesitan para aumentar la calidad de servicio. Esto conlleva a la creación de estándares y normas que fomenten la homogeneidad en los procesos de atención. Actualmente existen algunos estándares reconocidos mundialmente que funcionan como referencia; sin embargo, es necesaria la creación y revisión de normas en México.

III.1.1. Estándares y formatos para transmisión de información médica

Para permitir la amplia difusión de aplicaciones de telemedicina, es importante lograr la interoperabilidad de los sistemas y reducir el costo de los dispositivos. Por consiguiente, la elaboración de normas internacionales con la participación de los actores principales (gobiernos, organizaciones intergubernamentales, organizaciones no gubernamentales, instituciones médicas, médicos, etc.) es un factor esencial para alcanzar esos objetivos.

Muchos de los equipos periféricos de especialidades médicas, que utilizan imágenes para el diagnóstico (tales como ultrasonido, resonancia magnética, tomografía computarizada, etc.), ya tienen pautas para procesar la información de tipo digital. El equipo de radiología es el que actualmente está más avanzado en este tema. Actualmente existen especificaciones sobre formatos y resolución de imágenes como los que se mencionan mas adelante. En México se están realizando revisiones para la creación de normas sobre procedimientos de teleconsulta [CENETEC, 2007] y se cuenta con una Norma Oficial para el Expediente Clínico Electrónico [NOM-168-SSA1, 1998]. A pesar de estas iniciativas, el sector de la Telemedicina en México y en el mundo está aún en ciernes, ya que los estándares que existen son, por lo general, recomendaciones no específicas ni obligatorias. A continuación se explican brevemente algunos de los estándares más comunes para manejo de información médica, ya sea para su transmisión entre periféricos o para procesamiento y representación de imágenes radiológicas.

HL7 (Health Level Seven): Tiene como objetivo facilitar la integración de aplicaciones heterogéneas en tiempo de ejecución. Es una organización de desarrollo de estándares que funciona en el ámbito de la salud, acreditada por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute, ANSI). Entre los miembros de esta organización, se encuentran proveedores y distribuidores de tecnología, aseguradores, prestadores de servicios de salud, desarrolladores de software, consultores, usuarios finales, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, etc., que tienen interés por el avance y desarrollo de estándares clínicos y administrativos. Su especificación más utilizada es la de mensajería para el intercambio electrónico de datos textuales en salud. Actualmente el IMSS utiliza la versión 3 de este estándar [ANSI].

DICOM: Es un protocolo reconocido mundialmente que permite la transferencia de imágenes radiológicas digitales desde el equipo médico a otro con un software para su visualización, almacenamiento, impresión y transmisión. Utiliza el modelo de capas para representar conexiones virtuales entre diferentes plataformas de cómputo, utilizando protocolos de comunicación. Incluye la definición de un formato de archivo y de un protocolo de comunicación de red [NEMA, 1993]. El protocolo de comunicación es un

protocolo de aplicación que usa TCP/IP para la comunicación entre sistemas. Los ficheros DICOM pueden intercambiarse entre dos entidades que tengan capacidad de recibir imágenes y datos de pacientes en formato DICOM. Las diferentes máquinas, servidores y estaciones de trabajo tienen una declaración de conformidad DICOM que establece claramente las clases que soportan. Este protocolo ha sido adoptado ampliamente por hospitales y está incursionando en pequeñas aplicación de oficinas de dentistas y de doctores.

ITU-H.264: Es un estándar creado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) para la codificación de video. El objetivo principal de H.264 es ofrecer la más alta compresión de video preservando la calidad de éste. La motivación para ofrecer esta compresión es la de compensar las limitaciones siempre existente relacionadas con la capacidad del canal de comunicación. En Marzo de 2004, la ITU formó un grupo de trabajo, la Comisión de Estudio 16, para realizar mejoraras a sus estándares atendiendo a las necesidades de la Telemedicina [ITU, 2004].

III.2. Cardiología

Las enfermedades cardiovasculares constituyen en la actualidad la primera causa de mortalidad en el mundo. De acuerdo con estadísticas del INEGI, la principal causa de mortalidad en México son problemas relacionadas a enfermedades del aparato circulatorio [INEGI, 2006]. Para conocer información detallada revise el anexo A. En la figura 14 se muestran los porcentajes de mortalidad con respecto a las causas reportada por la Secretaría de Salud para el año 2000 en México [SSA, 2000].

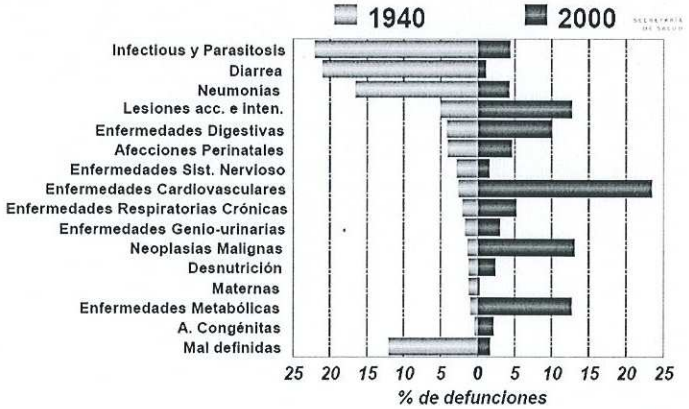


Figura 14. Porcentajes de mortalidad por tipo de enfermedad [SSA, 2000]

De acuerdo con los reportes anteriores, la cardiología es una de las especialidades que más demanda tiene dentro de los servicios de salud en México. La Telemedicina ha demostrado ser una herramienta útil y de bajo costo con un amplio rango de aplicabilidad para esta especialidad. La Telecardiología es la aplicación de la Telemedicina a la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares. Permite interactuar al personal sanitario de primer nivel en tiempo real o diferido, y de forma ambulatoria, con médicos especialistas cardiólogos para evitar traslados y resolver urgencias. En la actualidad la Telecardiología utiliza estaciones de trabajo que transmiten entre unidades remotas electrocardiogramas de 12 derivaciones ya sea por red o por vía telefónica. Las actuales estaciones de trabajo pueden grabar y enviar electrocardiogramas, ecocardiogramas, ruidos cardiacos, sonidos, mensajes hablados e imágenes. La mayoría de las consultas de cardiología se realizan en modo "Almacenamiento y envío" [CENETEC, 2007].

III.2.1. Estudios médicos para consulta rutinaria

En México, una consulta rutinaria de cardiología en instituciones de salud pública, comprende cuatro aspectos básicos: la historia clínica, un examen clínico mediante auscultación, el electrocardiograma de superficie (ECG) y la radiografía simple de tórax [CENETEC, 2007].

Historia clínica: Consiste en los datos obtenidos del interrogatorio del paciente, en donde además de obtener datos personales históricos del paciente, se obtienen los síntomas de la enfermedad actual y los antecedentes que identificarán la presencia e intensidad de los factores de riesgo cardiovascular

El examen clínico del paciente: Permite detectar los signos que están presentes. En este examen debe destacarse que la Auscultación Cardiaca es la parte más compleja y amerita un entrenamiento especial que el médico cardiólogo ha desarrollado con la experiencia, y que con frecuencia llega a ser un factor decisivo para el diagnóstico de las enfermedades cardiovasculares.

El Electrocardiograma: Permite conocer el estado funcional eléctrico del corazón, el ritmo cardiaco, el tamaño y funcionamiento de las cavidades del corazón y el músculo cardiaco. Cualquier alteración en este estudio nos permitiría identificar patologías específicas.

La Radiografía de Tórax: muestra los aspectos anatómicos del corazón y los grandes vasos sanguíneos, así como algunas alteraciones funcionales cardio-pulmonares.

Para que se pueda realizar una consulta a distancia en Telecardiología, es necesario seleccionar aquellos dispositivos periféricos médicos que auxiliarán al médico en el diagnóstico, dependiendo de las particularidades de cada institución de salud. La manipulación de esta información a través de una red de comunicaciones exige su digitalización. Los procedimientos de digitalización no están completamente definidos para cuestiones de cardiología en México.

El registro gráfico (mediante un electrocardiograma) y el sonoro (mediante un estetoscopio digital) permiten realizar el seguimiento de un paciente para evaluar su patología cardiaca. Esto permite que en un determinado periodo de tiempo se pueden comparar los sonidos y gráficas obtenidos desde el inicio del diagnóstico, y su evolución con el tratamiento. Utilizando esta técnica complementaria de auscultación es posible tener suficiente información como para diagnosticar patologías en atención primaria de la salud. Lo anterior, sin tener que recurrir a exámenes cardiológicos complementarios, que a veces resultan innecesarios y que implican traslados costosos.

Para esta tesis se eligió el análisis de audio cardiaco producido por el estetoscopio digital debido a que la auscultación es la primera herramienta de análisis que se emplea para evaluar el estado funcional del corazón. Es fundamental la evaluación de la calidad en la transmisión de este tipo de información ya que, a partir de los resultados obtenidos de esta primera auscultación, se determinará si es necesaria la realización de estudios más complejos y/o remitir al paciente con un especialista.

III.2.2. Estetoscopio digital

El estetoscopio digital es una herramienta que es de gran utilidad en la integración del diagnóstico del paciente mediante la auscultación. Los estetoscopios están diseñados para poder examinar el rango de frecuencia entre 50 y 200 Hz, que es el que refleja el sonido cardíaco. La auscultación pulmonar se realiza con este aparato, sin embargo el intervalo de frecuencia de los ruidos respiratorios es diferente de los cardiacos.

La frecuencia de los ruidos respiratorios varía entre 100 y 2,000 Hertz. El oído humano es capaz de percibir sonidos con frecuencias entre 16 y 20,000 Hertz (figura 15).

El sonido de la traquea normal está en el intervalo de frecuencias desde 200 hasta 1,500 Hz, dependiendo de la edad del paciente. En el caso de los ruidos pulmonares, el intervalo varía entre 200 y 800 Hz. La presencia de ruidos anormales pueden variar significativamente la frecuencia e intensidad de los ruidos, sin embargo no es frecuente que se supongan frecuencias mayores a 2,000 Hz. [Sánchez D., 2000].

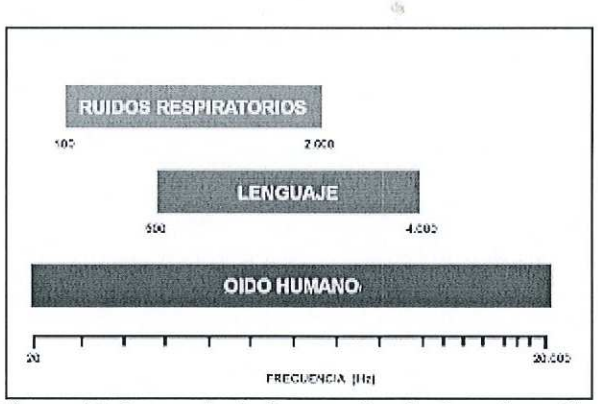


Figura 15. Intervalo de frecuencias de tipos de audio.

Un estetoscopio digital contiene un micrófono y un ajuste de ganancia. El auricular puede ser usado para auscultar de forma tradicional. También posee un conector para salida de audio que puede ser unido a un dispositivo externo de grabación o a la tarjeta de sonido de una computadora. La señal sonora es conducida desde el amplificador al microprocesador, el cual registra digitalmente el sonido con una velocidad de muestreo y una resolución dadas. En la figura 16 se muestran los componentes de un estetoscopio acústico.

En el análisis visual, el cual se realiza por algún software para este fin, la señal se reconvierte digitalmente a una velocidad menor, utilizando un filtro digital pasabanda para eliminar ruidos indeseables. Posteriormente se realiza una transformada rápida de Fourier con una ventana de 128 puntos. El almacenamiento del sonido cardiaco en una computadora permite su reproducción cuando el médico así lo requiera y facilita su manejo en la transferencia a otra computadora (Modo Almacenar y Envíar). La herramienta más simple y probablemente la más conocida, es el análisis espectral de la señal, que permite visualizar el sonido como una imagen en el plano tiempo-frecuencia. Un espectro de Fourier representa la intensidad relativa de las frecuencias que conforman un determinado sonido. Para medir el sonido cardiaco el estetoscopio se aplica directamente sobre la región precordial. La membrana se usa para auscultar toda el área cardiaca, y la campana se usa de preferencia para el ápex y el borde esternal izquierdo en su porción baja.

La clasificación de los hallazgos por auscultación depende de la capacidad auditiva, entrenamiento y experiencia del médico. Sin embargo, el objetivo por parte de las TICs es entregar la información lo más fielmente posible a la realidad, para que el médico pueda realizar diagnósticos certeros.

El equipamiento para una adecuada auscultación digital consiste no solo del estetoscopio electrónico digital, sino también de auriculares, una computadora capaz de manejar las señales de audio, y software especializado para el registro y análisis de los sonidos del corazón.

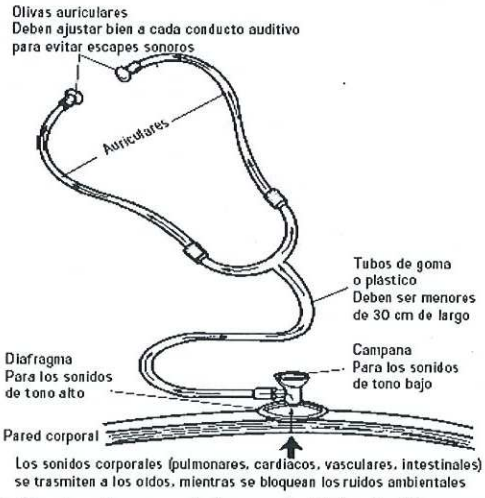


Figura 16. Partes de un estetoscopio [Llanio Navarro, 2005].

III.2.3. Características de audio cardiaco

Existen diferentes tipos de sonidos cardiacos, entre los principales para una auscultación elemental, están los llamados primero y segundo tonos cardiacos. Estos son causados por el cierre de las válvulas auriculoventriculares (A-V) y semilunares respectivamente.

La duración de cada uno de los sonidos del corazón es ligeramente superior a 0.1 s y la amplitud de frecuencias audibles comienza alrededor de la frecuencia más baja que el oído puede captar, aproximadamente 40 Hz y aumenta por encima de 500 Hz. Cuando se utiliza un dispositivo electrónico especial para registrar estos tonos, la mayor parte del ruido registrado se sitúa en frecuencias y niveles de sonido por debajo del intervalo audible [Guyton, 2000]. En la Figura 17, se muestran los intervalos de las señales de audio cardiaco en relación al umbral de audibilidad de los humanos.

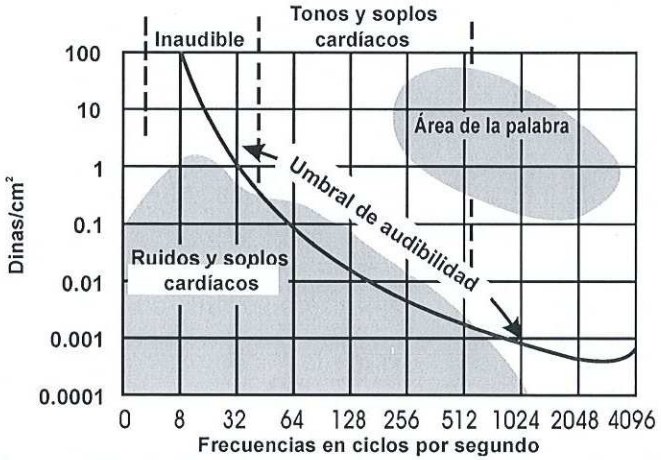


Figura 17. Amplitud de las diferentes vibraciones de frecuencia en los tonos y soplos cardiacos en relación con el umbral de audibilidad [Guyton, 2000].

Los cuatro principales sonidos cardíacos están asociados con la apertura y cierre de las válvulas y el flujo de sangre dentro del corazón durante el ciclo cardiaco. Estos sonidos pueden ser escuchados colocando un estetoscopio en la posición correspondiente a los focos de auscultación en la superficie del pecho por encima del corazón. Los sonidos principales del ciclo cardiaco son los S1 y S2.

El primero ocurre durante la sístole ventricular, dura alrededor de 0.15 segundos y tiene una frecuencia de 25 a 45 Hz.

El segundo sonido cardíaco S2, ocurre al inicio de la diástole ventricular y dura unos 0.12 segundos con una frecuencia de 50 Hz El anexo B da una mayor explicación de las causas fisiológicas de estos sonidos). Con la auscultación de los cuatro sonidos del ciclo

cardiaco pueden identificarse problemas del corazón, como los soplos. En la Figura 18 se muestran algunos patrones de patologías que pueden ser observados con las imágenes de sonidos cardiacos por auscultación [López Arias, 2005-2006].

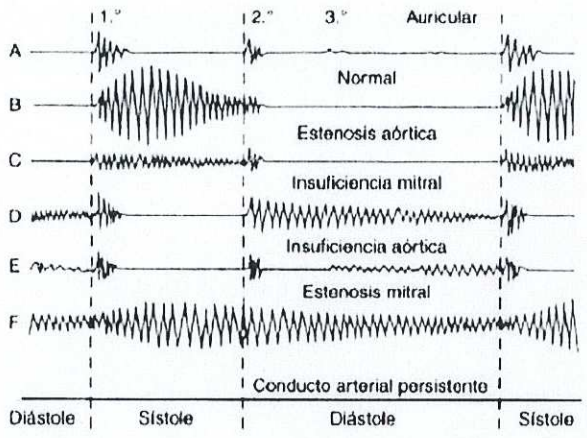


Figura 18. Patologías observadas en los sonidos del ciclo cardiaco [Guyton, 2000].

Existen diferentes tipos y modelos de estetoscopios digitales con intervalos de frecuencias y modos de operación diferentes. El estetoscopio tiene dos tipos básicos de receptores, el de campana y el de diafragma. La mayoría de los ruidos se escuchan bien con el diafragma del estetoscopio, para frecuencias mayores. Utilizado correctamente, el receptor de campana es el más conveniente para captar los sonidos de tono bajo, como el tercero y cuarto (S3 y S4) [Llanio Navarro, 2005]. Casi todos los estetoscopios modernos tienen receptores que reúnen la campana y el diafragma. La tabla III muestra los intervalos de frecuencias que en esta tabla se muestran, son los más comunes. Sin embargo, pueden variar entre los diferentes modelos comerciales de estetoscopios.

Tabla III. Modos para auscultación con estetoscopio.

MODO	TIPO DE SONIDO	FRECUENCIAS
CAMPANA	Tono y frecuencias bajos	20 Hz – 250 Hz
DIAFRAGMA	Frecuencias mayores, auscultación general	20 Hz – 500 Hz
EXTENDIDO	Amplifica el rango para otros sonidos cardiacos	20 Hz- 1000 Hz

III.3. Codificación y transmisión de audio

Las señales de audio son analógicas, mientras que las redes de datos y de comunicaciones son digitales. El proceso de convertir ondas analógicas a información digital se realiza mediante un codificador-decodificador. Al conjunto de un codificador y de un decodificador en un mismo equipo, se le llama codec. Hay diversos métodos para transformar una señal de voz analógica, todas ellas mediante varios estándares. El proceso de la conversión es complejo, pero las conversiones más comunes se basan en la modulación codificada mediante pulsos (PCM) o variaciones de este proceso.

III.3.1. Codificación de audio

Para la transmisión de audio a través de una red de datos, primero es necesario realizar su digitalización. El proceso de transformación de la señal analógica original con frecuencia máxima f_0 a una señal digital, comienza con el muestreo a una determinada frecuencia $f_m \geq 2f_0$. Posteriormente se realiza la codificación con un número adecuado de bits, generando una señal digital de una determinada tasa de bit. Para reducir el ancho de banda, la señal digital se somete a un proceso de compresión/codificación, según diferentes codecs de audio, como las familias de codificadores G.7xx, MPEGx, AMRx, entre otros.

Muestreo: consiste en tomar valores instantáneos de una señal analógica, a intervalos de tiempo iguales. El muestreo se efectúa siempre a un ritmo uniforme, que viene dado por la frecuencia de muestreo f_m.

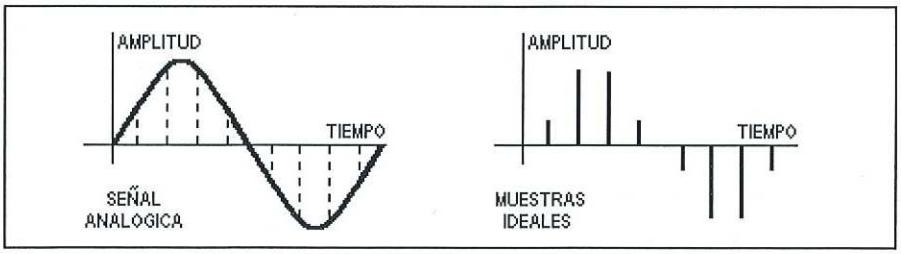


Figura 19. Muestreo de una señal analógica.

La condición que debe cumplir la frecuencia de muestreo está descrita por el teorema del muestreo de Nyquist. De acuerdo a este se tiene por ejemplo, que las señales analógicas

de frecuencia vocal (que se encuentran en el intervalo de 300 a 3400 Hz), se han de muestrear a una frecuencia igual o superior a 6,800 Hz (2 x 3400). Sin embargo, en la práctica se suele tomar una frecuencia de muestreo f_m = 8000 Hz. Al haber sobremuestreo se pueden evitar algunas de las perdidas por digitalización, ya que se tienen más muestras para la misma señal de audio. Para audio telefónico de f_0=3.1 kHz, con una frecuencia de muestreo de f_m=8 kHz y 8 bits por muestra (codificación PCM), se genera una señal de audio digital a una tasa de 64 kbps. Es decir, se toman 8,000 muestras por segundo. Además, de esta manera el período de muestreo (separación entre dos muestras consecutivas) se puede obtener como sigue:

$$T=1 / 8000 = 0.000125 \text{ seg} = 125 \ \mu s \quad (1)$$

Cuantificación: La cuantificación es el segundo proceso dentro de la digitalización de un señal, es precedido por el muestreo y seguido por la codificación. En el procesamiento digital de señales, la cuantificación es la discretización de un rango continuo de amplitudes por aproximación o truncamiento de valores. El resultado será un grupo más reducido de amplitudes discretas. En este proceso, las muestras toman el valor del nivel más próximo dentro del rango de niveles establecidos. Así, se define el paso de cuantificación como la diferencia que se tendrá entre dos niveles consecutivos como lo define la ecuación 2.

$$\triangle = \frac{MD}{2^{NB}} \quad (2)$$

Donde *MD* corresponde al margen dinámico de la señal (diferencia entre la amplitud máxima y la mínima) y *NB* representa el número de bits con el que se cuantifica. Existen diferentes métodos para establecer los niveles a los cuales se tendrán que ajustar las muestras. Los dos métodos más empleados son los siguientes:

PCM uniforme: Se caracteriza por tener un paso de cuantificación uniformemente distribuido. El número de niveles en la salida se determinará por el número de bits de que se disponga.

PCM no uniforme: Se caracteriza por disponer de mayor número de niveles para aquellas amplitudes de señal más probables, y viceversa. Se utiliza para las señales de voz, donde los valores de las amplitudes pequeñas son las más probables. El método más popular de PCM no uniforme es el conocido como PCM logarítmico, definido por los algoritmos de ley μ en América y Japón, y ley A en Europa y resto del mundo.

Codificación: Es el proceso mediante el cual se representa una muestra cuantificada mediante un número binario. Normalmente en telefonía se utilizan números binarios con 256 intervalos de cuantificación para representar todas las posibles muestras, por tanto se necesitarán números binarios de 8 bits (PCM) para representar 256 valores ($2^8 = 256$). Otros codecs que usan ADPCM o cuantificación delta utilizan menos intervalos y por tanto menos bits. El dispositivo que realiza la cuantificación y la codificación se llama codificador. La decodificación es el proceso mediante el cual se reconstruyen las muestras a partir de la señal numérica procedente de línea. Este proceso se realiza en un dispositivo denominado decodificador.

Además de la ejecución de la conversión de analógico a digital, el codec comprime la secuencia de datos, y proporciona la cancelación de eco. La compresión de la forma de onda representada puede permitir el ahorro del ancho de banda. Esto es especialmente interesante en los enlaces de poca capacidad, y permite tener un mayor número de conexiones simultáneas. Otra manera de ahorrar ancho de banda es el uso de la supresión del silencio, que es el proceso de no enviar los paquetes de la voz entre silencios en conversaciones humanas. Por su parte, los codecs de audio también se caracterizan por los siguientes parámetros:

Número de canales: un flujo de datos codificado puede contener una o más señales de audio simultáneamente. Dependiendo de la señal de audio, puede tratarse de audiciones "mono" (un canal), "estéreo" (dos canales, que es lo habitual) o multicanal.

Frecuencia de muestreo: de acuerdo con el teorema de Nyquist, que determina la calidad percibida a través de la máxima frecuencia que es capaz de codificar, precisamente la mitad es la frecuencia de muestreo. Por tanto, cuanto mayor sea la frecuencia de

muestreo, mayor será la fidelidad del sonido obtenido respecto a la señal de audio original. Por ejemplo, para codificar sonido con calidad CD nunca se usan frecuencias de muestreo superiores a 44.1 kHz, ya que el oído humano no es capaz de escuchar frecuencias superiores a 22 kHz.

Número de bits por muestra: determina la precisión con la que se reproduce la señal original y el rango dinámico de la misma. Se suelen utilizar 8 bits (para un rango dinámico de hasta 45 dB), 16 bits (para un rango dinámico de hasta 90 dB como el formato CD) o 24 bits por muestra (para 109 a 120 dB de rango dinámico).

Pérdida de información: algunos codecs pueden eliminar frecuencias de la señal original que teóricamente, son inaudibles para el ser humano. De esta manera se puede reducir la frecuencia de muestreo.

Tasa de bits*:* es el número de bits de información que se procesan por unidad de tiempo, teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo resultante, la profundidad de la muestra en bits y el número de canales. A causa de la posibilidad de utilizar compresión (con o sin pérdidas), la tasa de bits no puede deducirse directamente de los parámetros anteriores.

La calidad de audio percibido puede variar dependiendo del tipo de codificador que se utilice y la variación de los parámetros descritos anteriormente. En la tabla IV, se describen de manera general algunos de los codificadores de audio más comunes y se resumen sus principales características.

Tabla IV. Codificadores de audio más comunes.

Codec	Algoritmo	Tasa de Bits (Kbps)	Frecuencia de muestreo	MOS*	Aplicación
G.711	PCM-ley A PCM-ley μ	48 - 64	8 kHz	4.30	Telefonía analógica H.320
G.721	ADPCM	24 – 32	8 kHz	4.00	Audio conferencia
G.722	ADPCM	48 – 64	7 kHz	N/A	Audio conferencia
G.726	ADPCM	16 – 40	N/A	4.00	Voz digital en red
G.727	ADPCM	16 – 40	N/A	N/A	Voz digital en red
G723.1	MP-MLQ ACELP	5.30 6.40	33 kHz 30 kHz	3.63 3.90	Telefonía por Internet (retardo MAC: 37.5ms)
G.728	LD-CELP	16	1.6 kHz	4.00	VoIP (Voz sobre IP)
G.729	CSACELP	8	100 Hz	4.00	VoIP redes Internet
CELP	LPC-10	2.4 - 4.8	N/A	3.50	(retardo MAC:22.5ms)
GSM 6.10	RPE-LTP	13.2-22.8	50 Hz	3.80	Telefonía móvil GSM
AMRxxx	AMR	4.7-12.2	50 Hz	3.80	Telefonía móvil
MPEG-1	DolbyAC3	32 - 448	N/A	50:1	Música digital
MP3.Wav	--	24 - 128	N/A	200:1	Música por Internet

*MOS: Mean Opinion Score

En este trabajo de tesis se evaluará la calidad de servicio proporcionada por dos diferentes codecs, que fueron diseñados para voz humana, en la transmisión de audio cardiaco. Se analizará cómo influye la red local en el desempeño de dichos codificadores al transmitir audio.

III.3.2. Codecs G.711 y G.723.1

Los codecs de audio que se utilizaron como objeto de estudio en esta tesis, pertenecen a la familia G.7xx, la cual es parte de las especificaciones del estándar H.323 para videoconferencia. Estos son de los codificadores de audio más comunes en periféricos médicos. El codec G.711 está especificado como obligatorio para todas las terminales

H.323 del estándar para videoconferencia. Debido a sus diferencias, en cuanto a tasas de bits y compresión, resulta interesante evaluar los parámetros de QoS utilizándolos para la transmisión de audio cardiaco. A continuación se explica su funcionamiento y se detallan algunas de sus características más importantes.

Codec G.711: Es un codec de estándar de la ITU de alta tasa de bits. Es el formato nativo de las redes telefónicas digitales. Utiliza un esquema de codificación PCM sin compresión, proporcionando una tasa de bits de de 64kbps. Especifica dos algoritmos para el muestreo de la señal analógica. Dichos algoritmos son conocidos como ley a, para el estándar E1 usado en Europa; ley μ, que corresponde al estándar T1 usado en Estados Unidos y Japón. En ambos la señal es muestreada logarítmicamente.

Utilizar G.711 para VoIP (Voz sobre IP) o audio cardiaco puede proporcionar la mejor calidad ya que no utiliza compresión (evita pérdidas). Se utiliza en las redes PSTN y líneas ISDN, por lo que el audio sonará como si se usara un teléfono ISDN. Además, tiene menor latencia debido a que no necesita compresión, la cual requiere de tiempo de procesamiento. Este codec requiere un procesamiento muy lento. Necesita un mínimo de 128 kbps para una comunicación a dos bandas. La desventaja es que utiliza más ancho de banda que otros codificadores, pudiendo llegar hasta 84 kbps incluyendo todo el overhead de TCP/IP. Sin embargo, esto se soluciona aumentando el ancho de banda [ITU, 1988].

Codec G.723.1: Especifica una representación codificada que puede ser usado para compresión de voz u otros componentes de señales de audio de servicios multimedia a una tasa de bit muy baja. El codec de audio G.723.1 se usa mayoritariamente en aplicaciones VoIP.

En el diseño de este codificador, la principal aplicación considerada fue telefonía visual de baja tasa de bit como parte de la familia de estándares H.324. El codec G.723.1 tiene dos tasas de bit asociadas, 5.3 kbps y 6.3 kbps. La tasa más alta tiene mejor calidad de voz, mientras que la tasa menor brinda buena calidad y provee flexibilidad a los diseñadores de sistemas. Ambas tasas son parte fundamental del codec. Es posible intercambiar entre las dos tasas en cualquier frontera de trama de 30 ms. Está disponible

la opción para la operación de una tasa variable usando transmisiones discontinuas y relleno de ruido durante intervalos donde no hay voz presente.

El codec se optimizó de forma que represente la voz con gran calidad a las velocidades mencionadas y con una complejidad restringida. Codifica la voz u otras señales de audio en tramas mediante la codificación predictiva lineal. La señal de excitación del codec de alta velocidad es la cuantificación multiimpulso de máxima verosimilitud (Multipulse Maximum Likelihood Quantization, MP-MLQ) y la del codec de velocidad baja es la predicción lineal excitada por tabla de códigos algebraicos (Algebraic Code Excited Linear Prediction, ACELP).

El codificador G.723.1 codifica voz y otras señales de audio en tramas de 30 ms. Además, hay un preanálisis de 7.5 ms con un retardo de algoritmo total de 37.5 ms. Todos los retardos adicionales en la implementación y operación de este codificador son debidos principalmente al tiempo real de procesamiento de datos en el codec, al tiempo de transmisión en el enlace de comunicación y al retardo adicional de la memoria intermedia (buffering) para el protocolo de multiplexación [ITU, 2006].

Este codec ofrece una compresión alta con audio de alta calidad, aunque necesita más procesamiento que el codec G.711. Utiliza un ancho de banda reducido pero ofrece una calidad de audio más pobre. La música y otras señales de audio no se representan con la misma fidelidad que la voz, pero con este codec se pueden comprimir y descomprimir dichas señales.

A veces, la información de los datos digitales se pierde durante la compresión y descompresión. Entre más alta sea la compresión utilizada, el archivo de audio perderá mayor información durante la conversión. Sin embargo, se usa menor espacio de disco debido a que el tamaño del archivo de audio se reduce. En cambio, cuanto menor sea la compresión, menor será la pérdida de información. Sin embargo, se usará más espacio de disco debido a que el tamaño del archivo de audio aumenta. Por estos motivos, se tendrá un compromiso entre la compresión, la pérdida de información, el procesamiento y el

ancho de banda utilizados los cuales serán factores que influyan en la calidad del audio transmitido.

III.3.3 Transmisión de audio

Una vez codificada la señal de audio, esta se segmenta para su transmisión. La transmisión de audio a través de Internet considera el Protocolo de Control de Transporte (Transmission Control Protocol, TCP) cuando no es en tiempo real, con sus protocolos de señalización y control asociado al estándar H.323 para videoconferencia. También se usa el Protocolo de Datagrama de Usuario (User Datagram Protocol, UDP), con sus protocolos asociados (RAS, RTP, RTCP, entre otros) cuando la transmisión es en tiempo real. Ambos protocolos son implementados sobre servicios de Protocolo de Internet (IP).
Según la versión del protocolo (IPv4 o IPv6), cada bloque de datos puede contener un número configurable de paquetes. Además, cada bloque implica un encabezado respectivo (overhead) por los encabezados añadidos, que ocupan un número variable de bytes según el tipo de transmisión. Por ejemplo, normalmente se consideran 20 Bytes para IP. Este overhead influirá en el ancho de banda que se ocupe.
Un encabezado RTP contiene una marca de tiempo y un número de secuencia, permitiendo al dispositivo receptor encolar tantos como sea necesario para remover la variación del retardo y el retardo mediante sincronización de paquetes, todo esto para obtener un flujo continuo de sonido.

En este capítulo se describió la situación actual en México con respecto a la demanda de atención médica y al desarrollo en telemedicina por especialidades. De acuerdo a las estadísticas aquí descritas, los estudios de cardiología son de los más requeridos por la población nacional, los cuales incluyen envío de imágenes, video y audio. En este trabajo de investigación se centró el interés en la evaluación de la calidad de servicio al transmitir audio de sonidos cardiacos, la cual depende del codec de audio utilizado además de los recursos de la red de comunicaciones. En el siguiente capítulo se exponen los escenarios y modelos que se utilizaron en el análisis de los parámetros de calidad de servicio para aplicaciones de audio cardiaco. Posteriormente se presentan los resultados de dicho análisis en el capítulo V.

Capítulo IV

ESCENARIOS Y MODELOS PARA EL ANÁLISIS DE CALIDAD DE SERVICIO EN CARDIOLOGÍA

En este capítulo se describen los escenarios de redes locales considerados en este trabajo de investigación para la medición, simulación y evaluación de los parámetros de calidad de servicio al transmitir audio de cardiología. Se detallan las características de la topología de la red local de interés, así como las características de las conexiones cableadas e inalámbricas y la justificación de la comparación de las mismas. También se especifica la metodología seguida y los modelos matemáticos empleados para la descripción y evaluación de la información digital médica. Continuando, se describen los modelos matemáticos de los parámetros de calidad de servicio en la transmisión de información y finalmente se mencionan las herramientas utilizadas y los aspectos técnicos importantes para la evaluación y simulación de dichas transmisiones.

IV.1. Escenario de análisis

La evaluación de los parámetros de calidad de servicio para la transmisión de audio cardiaco se realizó en escenarios de redes locales, ya que representan el tipo de redes que se tendrán en ambientes hospitalarios, además de que la instalación de este tipo de redes es de las más sencillas y de bajo costo. Para la transmisión de información se consideraron dos tipos de conexiones: cableadas e inalámbricas; el enfoque de evaluación de los parámetros de QoS fue de extremo a extremo. Desde este punto de vista, el interés se centra en la degradación de la calidad del audio cardiaco debido a su transmisión utilizando diferentes tipos de conexiones dentro de una misma red local. En la figura 20

se muestra el escenario de análisis para la evaluación de QoS extremo a extremo, en el cual se consideran dos tipos de conexiones en una misma subred, que son cableadas e inalámbricas como se detallará más adelante.

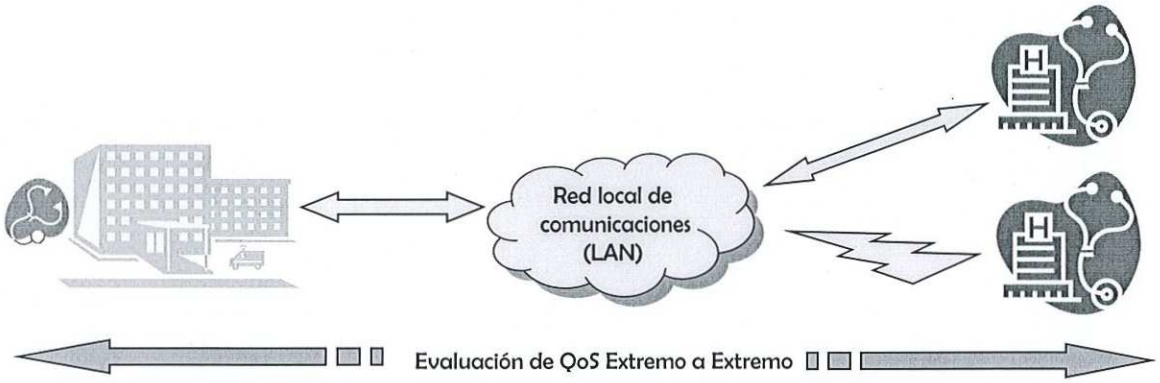


Figura 20. Escenario de análisis para ambientes interhospitalarios.

Este escenario es representativo de ambientes de Telecardiología, donde se tiene en un extremo la adquisición de información médica mediante un estetoscopio digital utilizado para la auscultación de pacientes. La transmisión del audio se realiza en el modo "Almacenamiento y Envío" a través de la red local hacia otro sector de la institución de salud, para su análisis por un especialista en el otro extremo del enlace.

Las transmisiones de audio cardiaco se llevaron a cabo dentro del Laboratorio de Satélites que pertenece a la División de Física Aplicada del CICESE. Dentro de este edificio se tiene instalada una subred LAN que pertenece a la red principal del CICESE, como se muestra en la Figura 21.

Todas las computadoras que pertenecen a la subred del edificio de Física Aplicada, están conectadas a una serie de switches que funcionan como enrutadores cuando se requiere enviar información entre subredes. Este switch está conectado a otro switch que se encarga de conectar las subredes de la institución a enlaces externos, entre ellos Internet, Internet2 y otros, con sus respectivos mecanismos de seguridad.

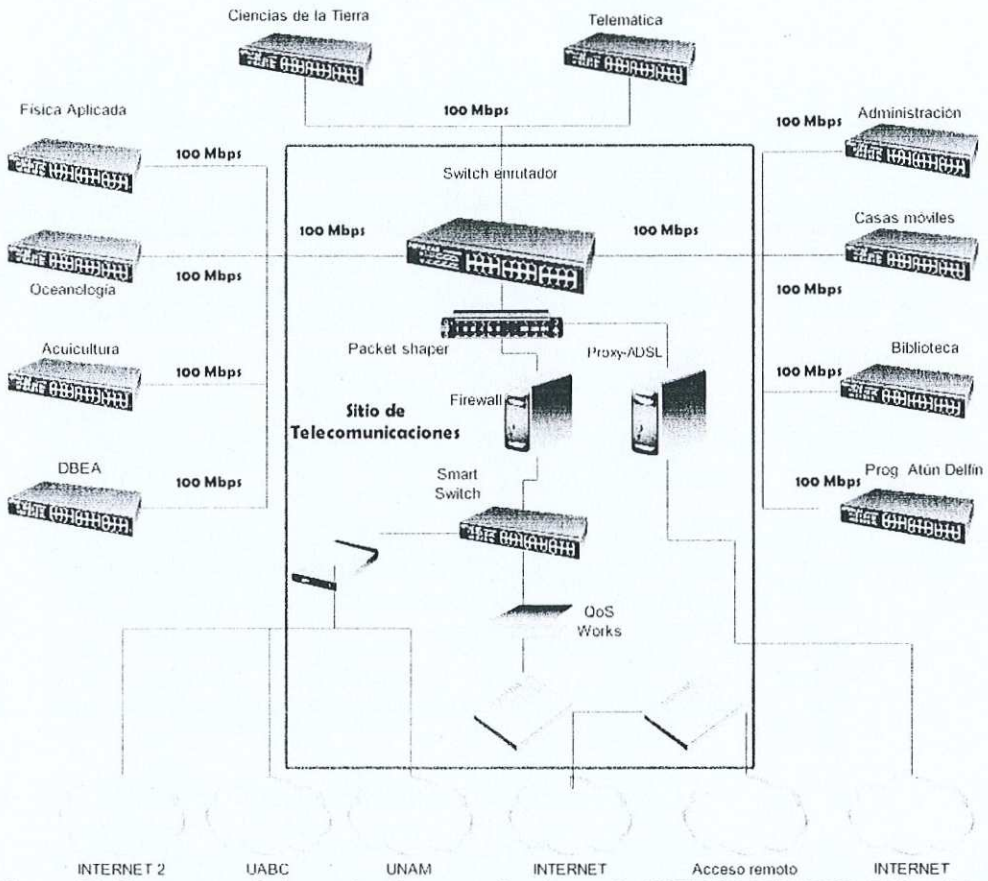


Figura 21. Estructura de las redes de comunicaciones de CICESE [CICESE, Telemática]

Mientras la información que se envíe tenga como destino una dirección IP dentro de una misma subred, solo será necesario transitar a través de los switches correspondientes sin que éstos realicen funciones de enrutamiento, la información realizará los saltos correspondientes de acuerdo a la distancia entre el nodo fuente y el nodo destino. En cambio, cuando se tiene como destino un nodo con una dirección IP fuera de la subred de Física Aplicada, es necesario que el switch enrute la información hacia la dirección IP correspondiente o que se conecte a un enrutador, para poder alcanzar el nodo destino especificado. Cabe señalar que para el caso de esta tesis, no se estudiarán los mecanismos de enrutamiento, sino el comportamiento extremo a extremo de la información médica digital cuando viaja a través de la subred.

En las transmisiones de audio realizadas para esta tesis, se consideró un solo salto entre computadoras, correspondiente al paso por el switch de Física Aplicada, con un 1 ms. de retardo como máximo, de acuerdo con pruebas realizadas con la herramienta "traceroute"

del sistema operativo de las computadoras. Utilizando esta herramienta se comprobó que las dos computadoras que intervinieron en la transmisión y recepción de información médica pertenecieran a una misma subred. Para esto se verificó que la máscara de subred fuera la misma para ambos casos.

La conexión a la red por parte del nodo destino se realizó tomando en cuenta dos variantes: conexiones cableadas y conexiones inalámbricas, dentro de la misma subred de Física Aplicada. Las conexiones cableadas presentan menos retardos y son las más comunes y generalmente más controladas. En cambio las conexiones inalámbricas pueden ser más inestables, debido a la interferencia que se tenga en el medio, por lo que los parámetros de QoS tenderían a empeorar. Aún así, existe una tendencia a implementar redes inalámbricas por su simplicidad de instalación, reducción de costos y posibilidad de movilidad, evitando el cableado. Por lo anterior, se tiene un especial interés en la comparación de los parámetros de QoS utilizando estos dos tipos de conexiones con la finalidad de establecer los parámetros de degradación del servicio al utilizar una u otra conexión. En la Figura 22 se muestra la topología de red con conexión cableada que se consideró para la transmisión de información de audio cardiaco.

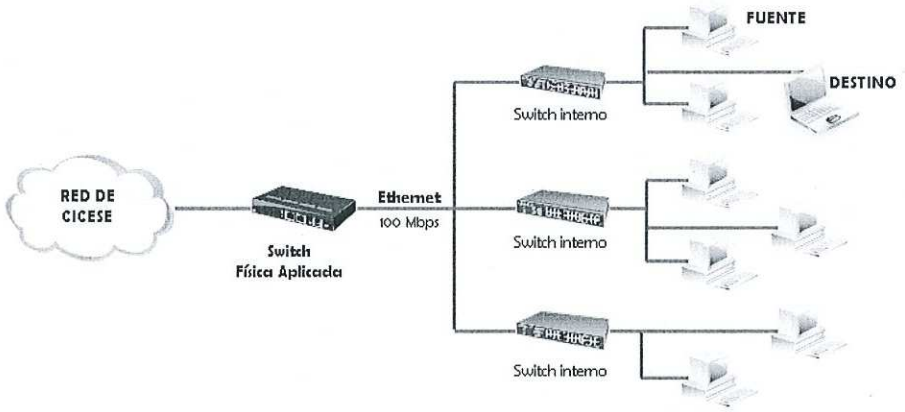


Figura 22. Topología considerada para transmisión con conexión cableada.

En el caso de la conexión inalámbrica en la cual se utiliza el estándar 801.11b, el usuario debe utilizar un punto de acceso para poder ingresar a la subred en cuestión. Este dispositivo no tiene funciones de enrutamiento si se requiere transmitir información entre computadoras dentro de la misma subred. Por lo tanto, la cantidad de saltos que se

obtienen mediante el "traceroute" hacia otra dirección IP con la misma máscara de red, incluye el paso por el punto de acceso inalámbrico. Sin embargo, aún cuando también se tiene un salto entre terminales, el retardo aumenta debido a las condiciones de propagación del medio inalámbrico, que son inherentes a este tipo de conexiones. Debido a esto, el análisis de las variaciones de los parámetros de QoS utilizando topologías similares, donde el tipo de conexión es lo único que cambia, resulta importante para tomar decisiones al momento de diseñar o recomendar el tipo de conexión más conveniente de acuerdo a al tipo de información transmitida. En la figura 23 se muestra la topología para una conexión inalámbrica así como los detalles de la conexión utilizada.

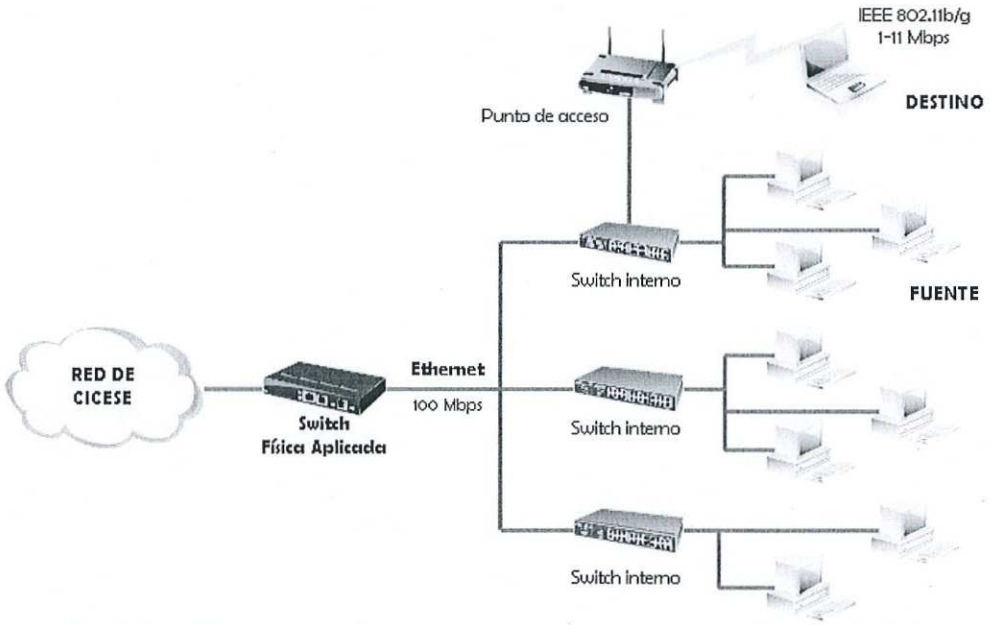


Figura 23. Topología considerada para transmisión con conexión inalámbrica.

IV.2. Metodología

La metodología que se siguió en este trabajo de tesis se muestra en la Figura 24. Para el análisis de los parámetros de QoS se consideraron conexiones cableadas e inalámbricas.

A pesar de que las conexiones inalámbricas brindan movilidad y costos de instalación menores que las cableadas, sufren una fuerte atenuación debido al canal de transmisión que resulta de interferencias en el medio. Los mecanismos de control necesarios para mantener la calidad de servicio, tanto en conexiones cableadas como inalámbricas no

serán objeto de estudio de esta tesis. Nuestro interés se enfoca en la comparación de los parámetros de QoS para transmisión médica, usando ambos tipos de conexiones en aplicaciones de cardiología.

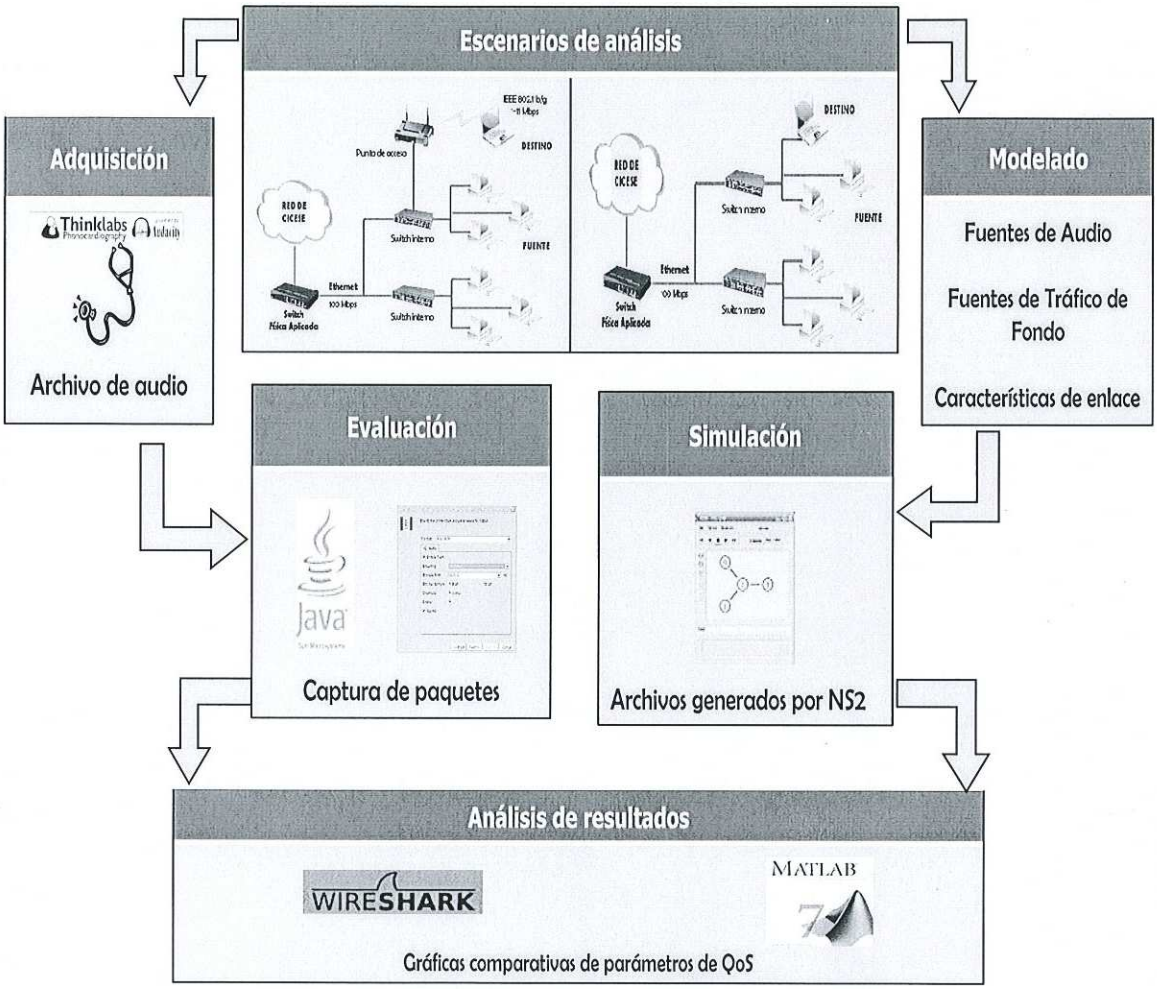


Figura 24. Metodología para la obtención de resultados.

El tipo de información que se evaluó son señales de audio cardiaco adquiridas mediante un estetoscopio digital, grabadas directamente a una computadora portátil para su envío posterior. Más adelante se detallan las características específicas de los archivos médicos. Considerando los escenarios arriba mencionados de análisis se realizó la transmisión en tiempo real de los archivos de audio adquiridos previamente, con el objetivo de observar su comportamiento en relación con los parámetros de retardo, jitter, pérdida de paquetes y ancho de banda.

Por otra parte, se modelaron las fuentes de información, tanto las de archivos médicos como las del tráfico de fondo presente en la red, generado por otros usuarios de la misma subred. Estos modelos se emplearon para la simulación de transmisiones mediante el ambiente de software Network Simulator (NS2). Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos por ambos métodos para la comparación de parámetros de QoS que se presenta en el capítulo V.

IV.3. Modelado de fuentes de tráfico

Como se mencionó en el capítulo II, es necesario diferenciar el tipo de tráfico que interviene en la transmisión de información a través de una red local. En este caso se hace una separación entre el tráfico generado por el usuario del sistema de telemedicina, que será de audio cardiaco exclusivamente, y el tráfico generado por los demás usuarios que comparten el enlace de red. A continuación se describe el proceso mediante el cual se obtuvieron los archivos de audio cardiaco.

IV.3.1 Adquisición de audio cardiaco

Los archivos de audio correspondiente a sonidos del corazón que se utilizaron en este trabajo de investigación, fueron obtenidos mediante un estetoscopio digital. Se grabaron directamente a una computadora portátil y se almacenaron para su envío posterior. Los sonidos cardiacos pertenecen a personas sanas sin padecimientos cardiacos, ya que para este trabajo de investigación el interés está en la evaluación de la calidad del audio cardiaco, no en el diagnóstico médico a partir de los mismos. La determinación del diagnóstico corresponde a médicos especialistas, por lo tanto, la evaluación de calidad de servicio se centró sólo en la variación de los parámetros de QoS antes descritos. Una vez grabados los sonidos cardiacos, se analizó su espectro en frecuencia para corroborar el intervalo de frecuencias descrito en el apartado III.2.3. En la Figura 27 se muestra un ejemplo del espectro en frecuencia del ciclo cardiaco de una persona sana, donde se observa que la mayoría de los sonidos se encuentran alrededor de 200 Hz, por lo que es factible el uso de los codificadores G.711 y G.723.1 para codificar estas señales.

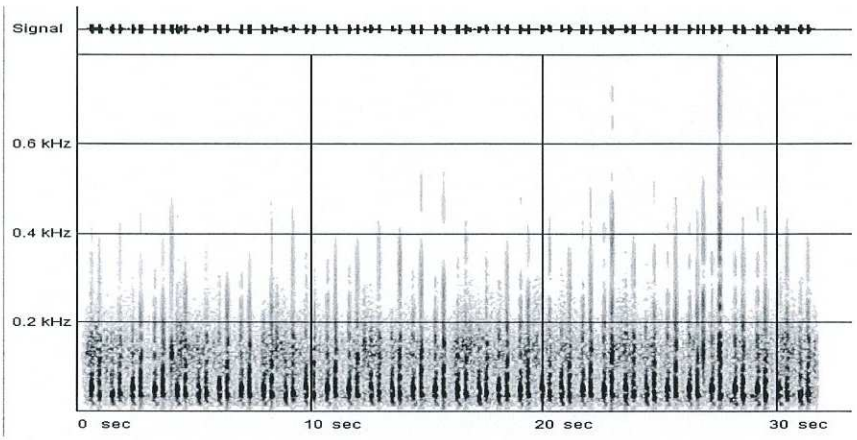


Figura 25. Espectro en frecuencia del ciclo cardiaco de una persona sana.

IV.3.2. Fuentes de audio cardiaco

Las fuentes de audio en general, de acuerdo a su transmisión, pueden representarse con modelos de actividad de audio o de silencio. De esta manera, se pueden caracterizar con un modelo ON/OFF donde se generan paquetes de audio o no, y se tienen intervalos de duración para presentar un estado u otro, los cuales generalmente se modelan con cadenas de Markov [Martínez Ruíz, 2006].

Sin embargo, en el caso de los codificadores de audio se utilizan sistemas de supresión de silencios o generadores de ruido de confort, para disminuir la velocidad de transmisión durante los períodos de señal de voz inactiva con la finalidad de mantener un nivel de calidad aceptable. Estos codificadores pueden considerarse como fuentes de tasa constante para el modelado del comportamiento en la generación de paquetes, ya que el codificador de voz está transmitiendo de manera continua a pesar de la existencia de silencios.

En las figuras 26 y 27 se muestra el comportamiento del audio con respecto al ancho de banda que ocupan utilizando los codecs de audio G.711 y G.723.1. Estas gráficas se obtuvieron mediante la transmisión en tiempo real de los archivos de audio cardiaco generados por un estetoscopio digital.

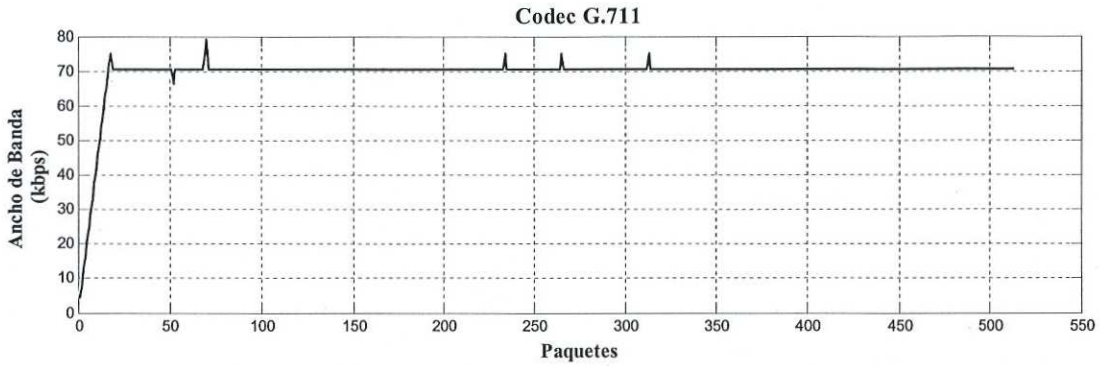


Figura 26. Comportamiento de fuente audio con el codec G.711.

El codec G.711 requiere un ancho de banda de alrededor de 70 kbps (incluyendo encabezados de protocolos) de manera prácticamente constante. El comportamiento del codec G.723.1 es similar, a pesar de consumir menor ancho de banda como se observa en la Figura 27.

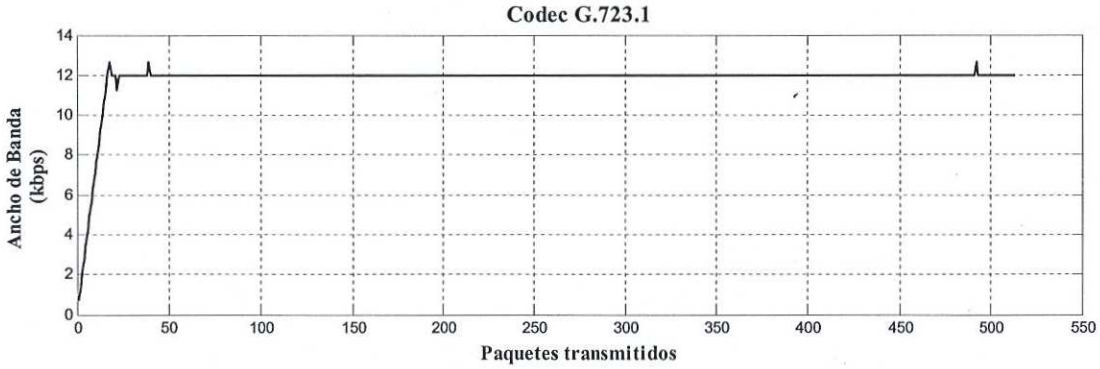


Figura 27. Comportamiento de fuente audio con el codec G.723.1.

Como se puede observar, los dos codificadores se comportan como una fuente de audio donde la tasa de bits es prácticamente constante. Por lo tanto, ambos codificadores pueden modelarse como una fuente de tipo CBR con diferentes tasas de transmisión, debido a las diferencias que presentan en el ancho de banda que consumen.

IV.3.3. Fuentes de tráfico de fondo

Para el tráfico de fondo se consideraron aplicaciones de tipo FTP, HTTP sobre protocolos TCP y otras aplicaciones de protocolos UDP, como representación de los usuarios de la red que no se identifican como emisores de información médica.

Estudios realizados por el Bellcore Morristown Research and Engineering Center [Borray Martínez, 2001], donde se consideró el análisis de cientos de millones de paquetes en redes Ethernet en mediciones realizadas sobre tráfico de datos, reflejan que este tipo de paquetes presentan un comportamiento fractal o autosimilar. Este tipo de tráfico presenta ráfagas permanentemente en escalas de tiempo diferentes; lo cual es muy diferente al comportamiento modelado mediante procesos de Poisson, donde se tienen tasas de llegadas de paquetes constantes y una baja correlación de las muestras de información.

Las propiedades que caracterizan a los procesos autosimilares son el decaimiento lento de la varianza y la dependencia a largo plazo, las cuales se hacen presentes al aumentar el nivel de agregación de tráfico.

Se ha demostrado en diferentes estudios, que la percepción del tiempo por parte del usuario de servicios de telecomunicaciones sigue una distribución normal en escala logarítmica. De la misma manera, se han considerado los procesos con varianza infinita o de cola pesada (heavy tailed), en donde la probabilidad de obtener valores altos de la variable decrece de una manera mucho más suave que en el caso de la función exponencial. Ha sido necesario recurrir a este tipo de procesos en la medida en que se ha probado que la varianza de series reales; como por ejemplo, el tamaño de los archivos en servidores FTP o la duración de las escenas en secuencias de video, presentan el llamado síndrome de la varianza infinita [Casilari, 2000]. Esto implica valores de la desviación típica muy por encima del valor medio calculado. Una de las distribuciones más eficaces para sintetizar señales con momentos infinitos es la distribución de Pareto, definida en la ecuación 3.

$$f(x)=\begin{cases}1-\left(\dfrac{\beta+x}{\beta}\right)^{-\alpha} & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x \succ 0\end{cases} \qquad (3)$$

Donde:

$$\beta = \mu \cdot (\alpha - 1) \tag{4}$$

$$\alpha = \frac{2\sigma^2}{\sigma^2 - \mu^2} \tag{5}$$

En las ecuaciones 3 y 4, β es una constante relacionada con el valor medio y α se relaciona con el grado de subexponencialidad; de manera que si $\alpha < 2$, la varianza es infinita. El hecho de que la varianza sea infinita representa que el tráfico tendrá un comportamiento intermitente, por lo que el parámetro α determina el grado de intermitencia del tráfico modelado y generalmente toma valores entre 1 y 2.

En la figura 28 se observan la simulación de una fuente de tráfico, en la cual los paquetes recibidos presentan una distribución de tipo Pareto con un valor de α de 1.1 que es similar a las consideraciones de [Aguayo Ortuño, 2004]. En dicha gráfica se observa la intermitencia en la llegada de paquetes en intervalos de tiempo diferentes.

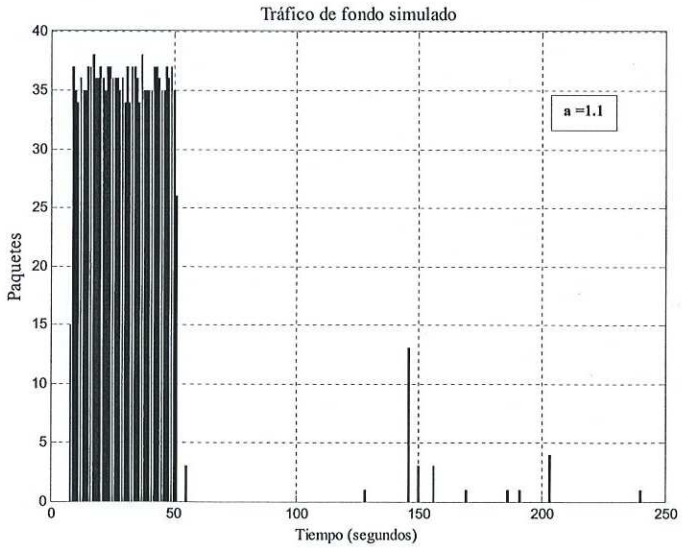


Figura 28. Paquetes recibidos de una fuente de tráfico con distribución tipo Pareto.

Para las simulaciones del tráfico de fondo de este trabajo de investigación, se consideraron como referencia los valores estadísticos del tráfico saliente de la red local del departamento de Física Aplicada, que corresponde al tráfico (generado por todos los usuarios del edificio) hacia otras subredes o hacia redes externas como lo son Internet e

Internet2. Cabe señalar que para efectos de esta tesis no se profundizará en el análisis del tráfico de fondo, sin embargo este análisis es necesario al momento de diseñar e implementar redes de comunicaciones para aplicaciones de Telemedicina, donde se debe tener un registro controlado de usuarios para garantizar ciertos niveles de calidad de servicio y de seguridad. La Figura 29 muestra el comportamiento del tráfico promedio entrante y saliente del departamento de Física Aplicada durante cinco minutos en un día entre semana.

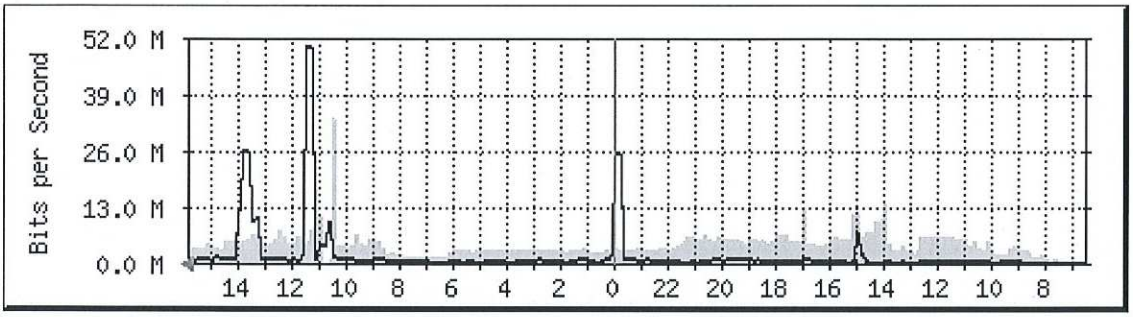


Figura 29. Comportamiento del tráfico saliente y entrante de la subred LAN de Física Aplicada de CICESE [Departamento de Redes, CICESE].

Resulta difícil modelar el tráfico real de una red debido a los constantes cambios que se presentan relacionados con la congestión y las horas del día. Sin embargo, para cuestiones de simulación se consideró una distribución de tipo Pareto, ya que se tiene una gran densidad de tráfico al inicio de las mediciones para posteriormente tener ráfagas en intervalos diferentes de tiempo durante el resto del periodo de tiempo de medición.

IV.4. Modelado de parámetros de QoS

A continuación se describen los modelos matemáticos de los parámetros de calidad de servicio que se utilizaron para la medición en las transmisiones tanto reales como simuladas, así como los umbrales considerados para la evaluación del desempeño en la transmisión de audio cardiaco.

IV.4.1. Retardo

Para objeto de esta tesis se consideró como retardo extremo a extremo la suma de los retardos por codificación y por tiempo de transmisión en la red. El retardo se describe en la ecuación 6 como sigue:

$$R_{e\text{-}e} = T_{cod} + T_{tx} + T_{dec} \tag{6}$$

Donde T_{cod} y T_{dec} corresponden a los tiempos de codificación y decodificación, en ms. respectivamente, de acuerdo al tipo de procesamiento de cada codec de audio en particular. Como se explicó en el apartado III.3.2, la complejidad del algoritmo de codificación utilizado (donde se incluye la compresión) influye en el retardo del proceso. De esta manera, se tiene que el codec G.711 no presenta retardos por procesamientos complejos debido a que no realiza compresión de la información, a diferencia del codec G.723.1 que presenta un retardo de 37.5 ms por el algoritmo de compresión. T_{tx} es el tiempo de transmisión el cual depende de la relación entre el tamaño del paquete transmitido, P_t y la tasa de bit R.

$$T_{tx} = \frac{P_t}{R} \qquad \left(\frac{bits}{bits/s}\right) \tag{7}$$

El retardo de transmisión depende del tipo de cableado, de las tarjetas de red de las terminales y de los switches de conexión; en el caso de las conexiones inalámbricas depende de la potencia de la señal y de las interferencias en el medio. En el caso de la red LAN considerada se tiene una velocidad máxima de 10 Mbps (Fast Ethernet) en la parte cableada y se tienen variaciones desde 1 Mbps a 11 Mbps (IEE 802.11b) en función de la cercanía que se tenga entre la terminal y el punto de acceso al utilizar conexiones inalámbricas dentro de la misma subred. En la Figura 30 se muestra un diagrama a bloques de los retardos considerados en la ecuación 6.

Figura 30. Consideraciones para la medición del Retardo.

IV.4.2. Jitter

El jitter es la diferencia de tiempo promedio que los paquetes consecutivos presentan al ingresar a las colas de espera de los nodos intermedios en el enlace de la red. Si el Jitter tiene valores altos, se pueden apreciar degradaciones significativas en las aplicaciones de audio, lo que provoca que sea ininteligible. Por lo tanto, el jitter es el parámetro más crítico en la transmisión de audio cardiaco a través de las redes de comunicaciones. Para considerar una calidad de servicio aceptable, es necesario que el jitter tenga valores menores de 50 ms. [Lopamudra, 2006]. La ecuación 8 describe el modelado de este parámetro considerando la diferencia de llegada de paquetes consecutivos, mediante los tiempos de transmisión T_{En} y T_{En-1} y los de recepción T_{Rn} y T_{Rn-1}, los cuales quedan registrados en los encabezados del protocolo RTP.

$$J_n = | (T_{Rn} - T_{Rn-1}) - (T_{En} - T_{En-1}) | \tag{8}$$

Por lo tanto el jitter total será la suma de la diferencia de retardo de todos los paquetes transmitidos como se muestra en la ecuación 9. La figura 31 muestra gráficamente los retardos que sufren los paquetes al llegar a los nodos intermedios de la red.

$$J = \sum_{n=1}^{m} J_n \tag{9}$$

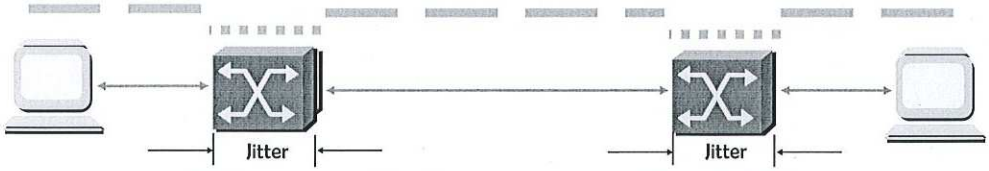


Figura 31. Consideraciones para la medición del Jitter.

IV.4.3. Tasa de Pérdida de Paquetes

La tasa de pérdida de paquetes (Packet Loss Rate, PLR) se consideró como la relación entre el total de paquetes recibidos, P_{rx} y el total de paquetes transmitidos P_{tx}, como se muestra en la ecuación 10. La pérdida de paquetes es un parámetro crítico cuando se

envía la información en tiempo real (protocolo UDP) ya que no hay retransmisiones. Por lo tanto, el PLR se ve afectado en gran medida por la congestión en el enlace de comunicaciones.

$$PLR = \frac{P_{rx}}{P_{tx}} \times 100 \quad (\%) \qquad (10)$$

Para aplicaciones de audio que se envían en modo "Almacenamiento y Envío" este parámetro no afecta tanto a la calidad de servicio como lo haría el Jitter, ya que la información se graba o almacena previamente. Además, en el caso del audio, algunos codecs tienen algoritmos de predicción de voz que pueden garantizar un entendimiento aceptable de la información si se tiene un PLR menor de 5%.

IV.4.4. Tasa de datos

En el caso de este trabajo de tesis se consideraron dos codecs de audio para la transmisión de señales correspondientes a sonidos cardiacos. Como se ha mencionado anteriormente, la tasa de datos generada por estos codecs es constante. Por lo tanto, se tienen dos características importantes a considerar del tráfico de audio, que son la tasa de paquetes constante, R_p, y el tamaño de los paquetes generados S_p. De esta manera, la tasa de datos que se utiliza se describe por la ecuación 11.

$$T_d = R_p \times S_p \quad (\text{kbps}) \qquad (11)$$

Tanto la tasa de paquetes como el tamaño de paquetes dependen del codec de audio que se utilice. Además, el tamaño del paquete también depende del tamaño de los encabezados de los protocolos que intervienen en la transmisión de la información. El ancho de banda se consideró únicamente para la comparación en eficiencia de recursos que presentan los codecs G.711 y G.723.1.

Para la validación de los resultados se consideraron los umbrales establecidos en estudios previos [Lopamudra, 2006] [Turunen, 2004] [Martínez Ruiz, 2006] [García Mendoza,

2007] para la transmisión de aplicaciones de audio, así como en recomendaciones de la ITU-T G.114, G.711 y G.723.1. La recopilación de los mismos se muestra en la tabla V.

Tabla V. Umbrales para Calidad de Servicio Aceptable en aplicaciones de audio

Codec	Retardo EE	Jitter	PLR	Ancho de Banda
G.711	< 50-125 ms	< 50 ms	< 3 - 5 %	> 40 kbps
G.723.1	< 150 ms	< 50 ms	< 10 %	> 6-12 kbps

Para la realización de este tipo de pruebas en ambientes hospitalarios es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones adicionales, las cuales se listan a continuación:

A continuación se listan algunas recomendaciones para la realización de este tipo de pruebas en un hospital con redes locales.

* Especificar el tipo de información que se requiere enviar, así como los dispositivos periféricos médicos y el tipo de conexión que se utilizará.
* Realizar el análisis de la red de comunicaciones, así como del número de usuarios y horas de congestionamiento en la red, para determinar la hora más conveniente para la transmisión de información. En este análisis se incluyen la especificación de recursos disponibles tales como ancho de banda y retardos inherentes del enlace.
* En cuanto al establecimiento de las sesiones RTP, en necesario que las direcciones IP de las computadoras que intervienen en la comunicación sean del tipo públicas o en su defecto pertenezcan a la misma red. Ya que no es posible enviar información directamente entre computadoras con direcciones públicas a privadas.
* Es conveniente considerar también la disponibilidad de puertos en el establecimiento de una sesión RTP para la comunicación entre computadoras en los extremos del enlace.
* Realizar un análisis previo de los parámetros de calidad de servicio que brinda la red para determinar los umbrales de tolerancia de acuerdo al tipo de información.
* Se deben tener mecanismos de seguridad para el acceso a la red para garantizar privacidad en el envío de la información médica.

En este capítulo se presentaron los escenarios considerados para la evaluación y simulación de la transmisión de audio cardiaco en redes locales con conexiones cableadas e inalámbricas, así como los modelos de fuentes de información, con la finalidad de sentar las bases de un análisis más extenso en la evaluación de ambientes hospitalarios que utilicen redes locales. Además, se planteó el modelado matemático de los parámetros de calidad de servicio a evaluar en este trabajo de tesis, el cual es necesario para su simulación. En el capítulo V se presentan los resultados obtenidos tanto en las transmisiones reales, como de las simulaciones realizadas.

Capítulo V

RESULTADOS DE EVALUACIÓN, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros de calidad de servicio en la transmisión real de la información de audio cardiaco codificado con los codecs G.711 y G.723.1 de manera experimental utilizando conexiones cableadas e inalámbricas. Se detalla el comportamiento del retardo, jitter, pérdida de paquetes y consumo de ancho de banda para cada uno de los escenarios. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos de la simulación de transmisión de audio utilizando conexiones cableadas con diferentes escenarios de red, tales como el aumento de tráfico de fondo y la variación de los parámetros de QoS.

V.1. Consideraciones para la transmisión experimental de audio.

La transmisión de información médica digital se realizó mediante el software de aplicación JMStudio versión 2.1.1e, en el cual se tiene la posibilidad de enviar audio en tiempo real estableciendo una sesión RTP sobre el protocolo UDP, entre dos computadoras personales. La sesión RTP se estableció entre computadoras pertenecientes a la misma subred de la división de Física Aplicada del CICESE. El software de aplicación brinda la posibilidad de elegir entre cinco diferentes codificadores de audio, de los cuales se escogieron el G.711 y el G.723.1 por ser los más representativos en aplicaciones de videoconferencia.

La codificación de los archivos de audio cardiaco grabados se realizó con 8 bits para el muestreo en todas las transmisiones. Cabe destacar que el modo de envío es "Almacenamiento y Envío" ya que, a pesar de enviar la información en tiempo real, las señales de audio están previamente grabadas. En la figura 32 se muestra el escenario de evaluación experimental.

La medición de parámetros de Calidad de Servicio en las transmisiones experimentales se realizó de manera pasiva mediante la captura de paquetes con el software "sniffer" WireShark v.1.0, en cada uno de los equipos en los extremos de la red. Con dicho software se analizó, de acuerdo al codec utilizado, los valores de retardo, jitter y la relación de pérdidas en el receptor. Se consideraron los números de secuencia, los tiempos de estampa registrados y el número de paquetes transmitidos, respectivamente.

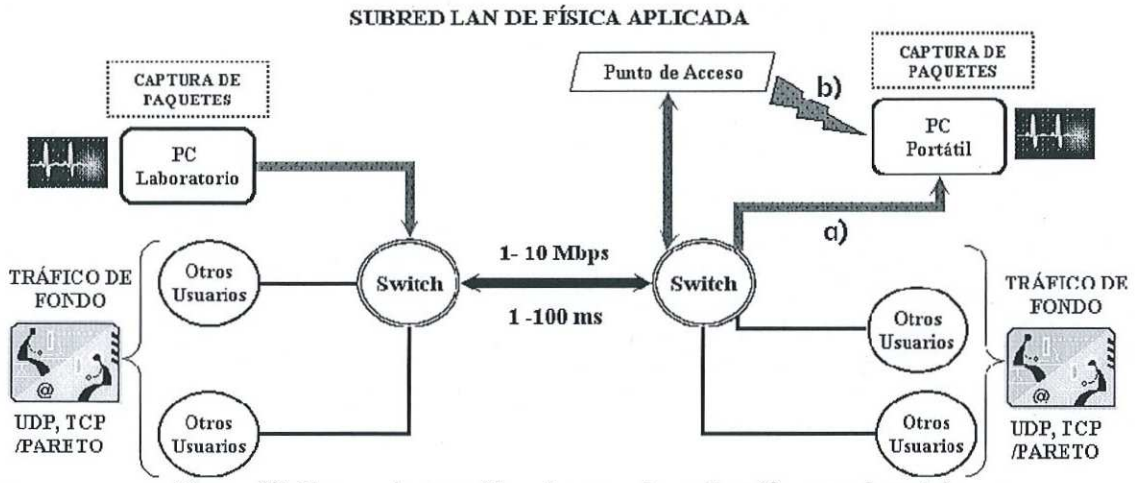


Figura 32. Escenarios considerados para la evaluación experimental: a) conexión cableado b)conexión inalámbrica.

Para realizar las pruebas experimentales en este escenario se consideraron varios factores tales como la hora del día en que se transmitió la información médica digital ya que al tener una red con múltiples usuarios se tienen diferentes valores de congestionamiento, lo que afecta en gran medida a los parámetros de calidad de servicio.

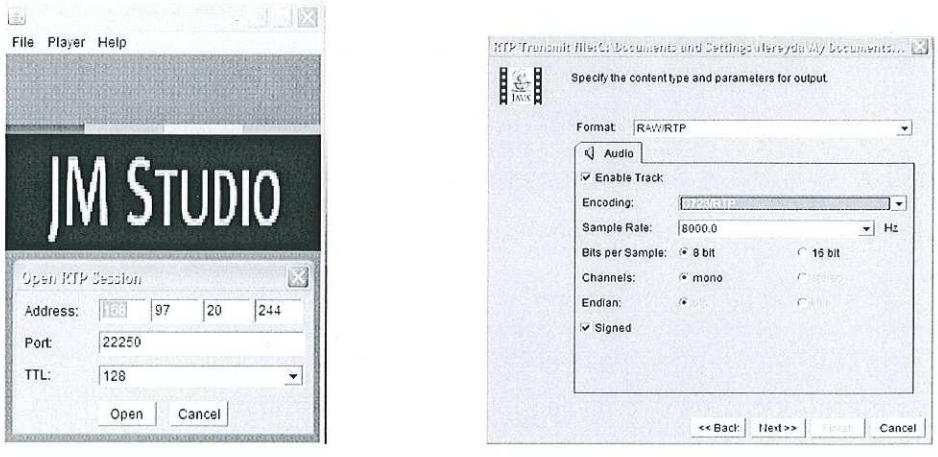
La red cableada utiliza Fast Ethernet con una velocidad máxima de 100 Mbps y se tiene un retardo de 1 ms entre las computadoras que intervienen en la sesión RTP de la aplicación JMStudio. Se considera un solo salto que incluye el paso por los switches de la subred.

Para el caso donde se tiene una conexión inalámbrica se utiliza el estándar IEEE 802.11b con una velocidad de entre 1 y 2 Mbps, dependiendo de la cercanía de la computadora portátil al punto de acceso a la subred LAN. El retardo que se tiene en este tipo de conexión es mayor debido a las condiciones del medio inalámbrico. El punto de acceso

no realiza necesariamente funciones de enrutamiento; también puede dar acceso a los dispositivos portátiles para la subred cableada.

Los archivos de audio digital cardiaco previamente grabado correspondiente a personas sanas y tienen una duración de aproximadamente 30 y 40 segundos con un tamaño de aproximadamente 3 MB, y en la mayoría de los casos, la frecuencia que se observa en su espectro es de alrededor de 200 Hz, la cual es suficiente para ser codificada por ambos codecs. Estos archivos son divididos en paquetes para su envío a través del protocolo UDP mediante RTP. De acuerdo con las capturas de paquetes se tienen paquetes de un tamaño fijo de 534 bytes y 102 bytes al utilizar los codecs G.711 y G.723.1 respectivamente. La información transmitida con el codec G.711 presenta mayor tamaño de paquetes, ya que no cuenta con algoritmos de compresión, lo que se traducirá en mayor ocupación de ancho de banda como se podrá observar más adelante.

La sesión RTP se estableció en ambos extremos del enlace especificando las direcciones IP, el tiempo de vida, TTL, de los paquetes de información, tomando como referencia los capturados mediante la herramienta "trace route", y habilitando puertos de entrada para recibir la información de audio. La figura 33 muestra la aplicación JMStudio utilizada para el establecimiento de la sesión RTP entre computadoras de la red, así como para la elección del codec de audio.



a) b)

Figura 33. Aplicación JMStudio a) Establecimiento se sesión RTP b) Elección de codec de audio.

La captura de paquetes se realizó en ambos extremos del enlace, con el objetivo de comparar la variación de los parámetros de calidad de servicio de los archivos de audio cardiaco recibidos en relación a los archivos de audio transmitidos.

En la sección V.2 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas experimentales realizadas durante una semana, cada media hora durante 8 horas. Los valores que se muestran son el resultado del valor promedio de las mediciones realizadas.

V.2. Resultados de mediciones experimentales

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de los parámetros de calidad de servicio que nos interesan durante las transmisiones reales de audio cardiaco, tanto en las conexiones cableadas como en las inalámbricas.

V.2.1. Comparación de retardo en conexiones cableadas.

La figura 34 muestra los valores de retardo de la información de audio cardiaco utilizando los codecs G.711 y G.723.1 en una conexión cableada. En este tipo de conexión se puede apreciar que el retardo es casi nulo, del orden de décimas de microsegundos. Como se observa, se tiene un comportamiento similar en ambos codificadores de audio. Sin embargo, cuando se utiliza el codec G.723.1 se presentan valores más altos de retardo. Esto se atribuye al tiempo que el algoritmo de procesamiento que el codec G.723.1 utiliza para transmitir una señal de audio. Debido a que este codec agrupa varias tramas en un solo paquete con la finalidad comprimir la información, el retardo con respecto al codec G.711 es mayor, ya que en este último solo se utiliza un paquete por cada trama.

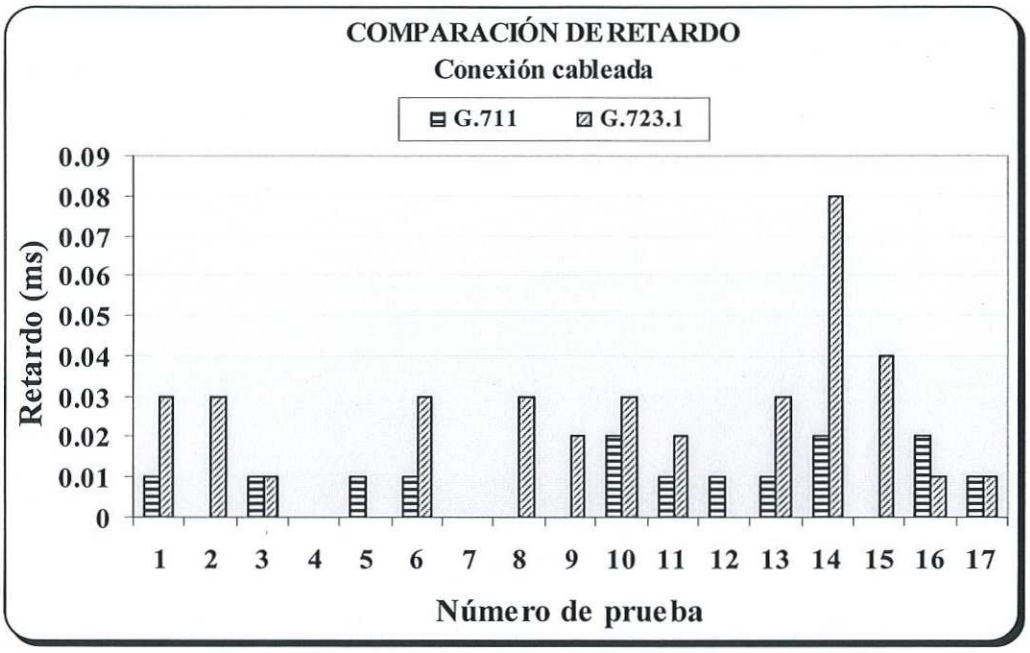


Figura 34. Comparación de retardo utilizando conexión cableada.

En el histograma de la figura 35, se aprecia mejor que el codec G.723.1 siempre presenta valores más elevados de retardo a pesar de generar paquetes de tamaños más grandes. A pesar de las diferencias de retardo entre los codecs de audio utilizados, este parámetro no se considera crítico en este tipo de conexión para el escenario planteado. En la tabla VI se presentan los valores específicos del histograma para el retardo utilizando los codecs G.711 y G.723.1

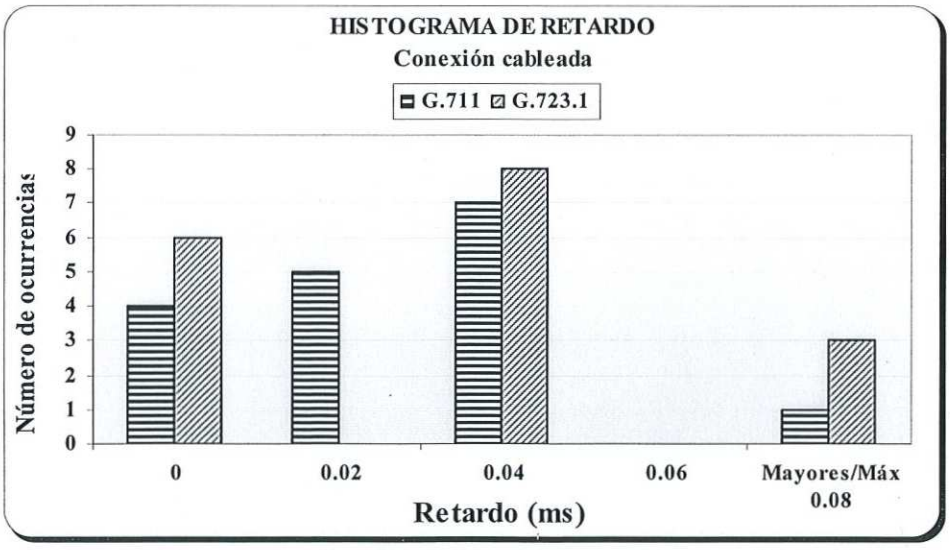


Figura 35. Histograma de valores de retardo utilizando conexión cableada.

Tabla VI. Estadísticas de retardo utilizando conexiones cableadas.

RETARDO PARA CONEXIONES CABLEADAS					
G.711			G.723.1		
Bin	**Frecuencia**	**% Acumulado**	**Bin**	**Frecuencia**	% Acumulado
0	4	**23.53%**	0	6	**35.29%**
0.02	5	**52.94%**	0.005	0	**35.29%**
0.04	7	**94.12%**	0.01	8	**82.35%**
0.06	0	**94.12%**	0.015	0	**82.35%**
Mayores/Máx 0.08	1	**100.00%**	Mayores/Máx 0.08	3	**100.00%**
Media		**0.008235 ms**	**Media**		**0.026471 ms**

V.2.2. Comparación de jitter en conexiones cableadas.

Como se ha mencionado, el jitter es uno de los parámetros que más afectan a las señales de audio, ya que si se tienen valores altos, mayores de 50 ms, la calidad del audio recibido puede verse afectada al punto en el que no se distingan para un diagnóstico certero. Sin embargo, para el caso de conexiones cableadas se tienen valores bajos de jitter al igual que los retardos como se mostró anteriormente. En la figura 36 se aprecian valores de jitter casi nulos para los dos tipos de codecs de audio, donde se puede apreciar que este parámetro afecta de forma similar a los dos tipos de codecs.

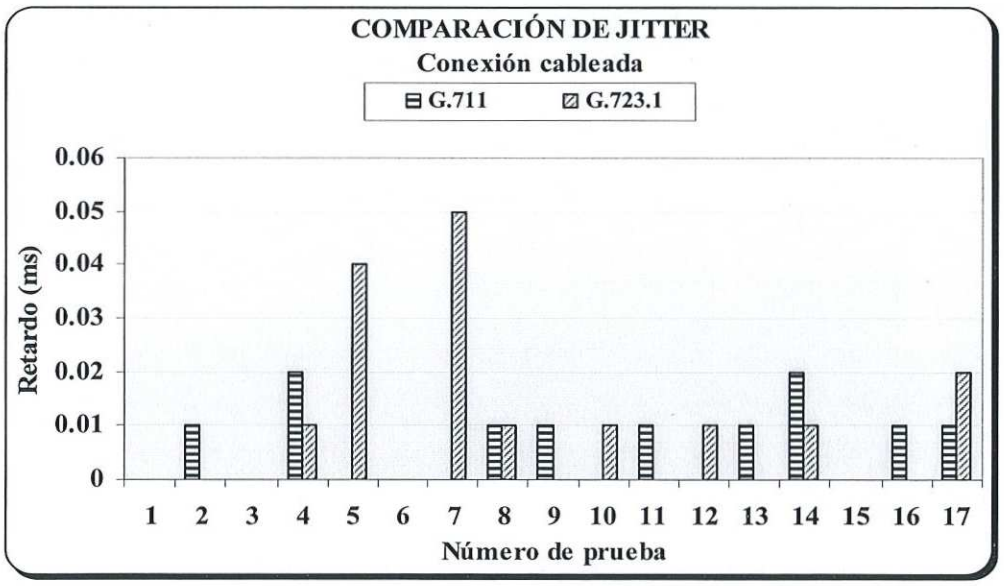


Figura 36. Valores de jitter para conexiones cableadas.

En la figura 37 se puede apreciar que aún cuando los valores de jitter son muy bajos, del orden de μs cuando se utiliza el codec G.723.1 el jitter es ligeramente mayor, como se

observa también en la tabla VII. El jitter depende del nivel de congestión que se tenga en el enlace, ya que ésta produce que los paquetes de información de audio tengan que esperar en las memorias de almacenamiento (buffers) de los nodos intermedios del enlace de comunicaciones.

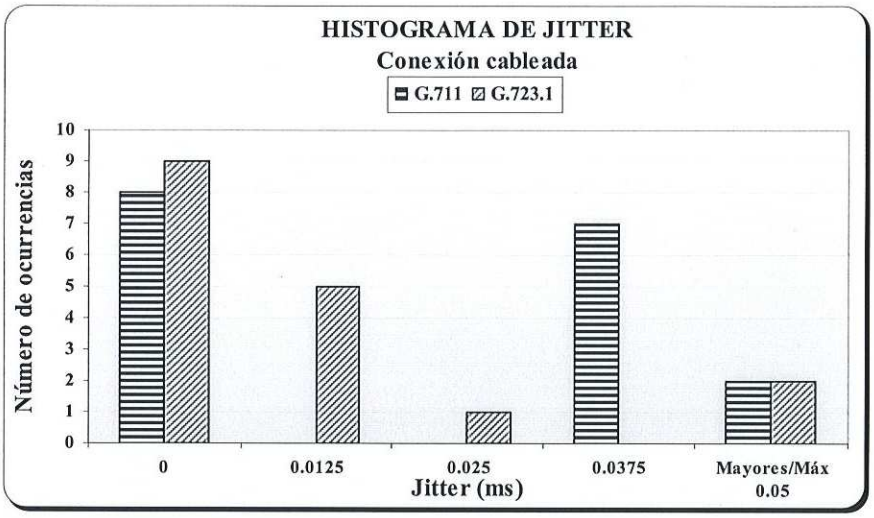


Figura 37. Distribución de valores de jitter utilizando conexión cableada.

Tabla VII. Estadísticas de jitter utilizando conexiones cableadas.

RETARDO PARA CONEXIONES INALÁMBRICAS					
G.711			G.723.1		
Bin	**Frecuencia**	**% Acumulado**	**Bin**	**Frecuencia**	% Acumulado
0	8	47.06%	0	9	**52.94%**
0.005	0	47.06%	0.0125	5	**82.35%**
0.01	0	47.06%	0.025	1	**88.24%**
0.015	7	88.24%	0.0375	0	**88.24%**
Mayores/Máx 0.02	2	100.00%	Mayores/Máx 0.05	2	**100.00%**
Media		**0.00647 ms**	**Media**		**0.01882 ms**

En la transmisión a través de la red LAN con conexiones del tipo cableadas se tiene un ambiente con niveles más bajos de retardo y jitter, además de que no existen pérdidas, ya todos los paquetes llegaron a su destino. El retardo es muy pequeño y se considera prácticamente constante durante la transmisión. Este comportamiento depende del retardo fijo del enlace y de los tiempos de procesamiento de codificación y decodificación. El jitter tiene algunos picos, pero son prácticamente insignificantes. El nivel de jitter aceptable debe ser menor de los 50 ms y en este caso se tienen valores alrededor de 0.01 ms. En este escenario con tipo de conexión cableada, los valores de los parámetros de

calidad son óptimos, provocando que la calidad de servicio no se vea afectada. Estos resultados servirán de referencia para los escenarios donde se utilizan conexiones inalámbricas en las cuales los niveles de los valores de los parámetros de calidad de servicio son mayores.

V.2.3. Comparación de retardo en conexiones inalámbricas.

En el caso de las conexiones inalámbricas se tienen valores considerables de retardo que alcanzan hasta 300 ms. aproximadamente en algunos picos. En casos como este, el retardo de transmisión se ve afectado por la velocidad del enlace inalámbrico que se tenga en el momento del envío de información, además del procesamiento de los codecs. Las mediciones presentadas se realizaron mediante la conexión al punto de acceso más cercano al laboratorio de Satélites, mediante el estándar IEEE 802.11b, el cual brindó una velocidad de transmisión desde 1 Mbps con poca señal, hasta 11 Mbps en el mejor de los casos. Lo anterior podría representar los posibles casos de uso dentro de un hospital, donde no se tiene siempre una buena cobertura de la señal inalámbrica. Estas variaciones en la potencia de la señal inalámbrica se ven reflejadas en el aumento considerable del retardo con respecto a las mediciones donde se utilizó una conexión cableada. En la figura 38 se aprecia el comportamiento del retardo para los codecs de audio de estudio. Se puede observar que ambos codecs de audio presentan valores similares en cada prueba. Sin embargo, en la figura 39 se aprecia mejor la distribución de los valores de este.

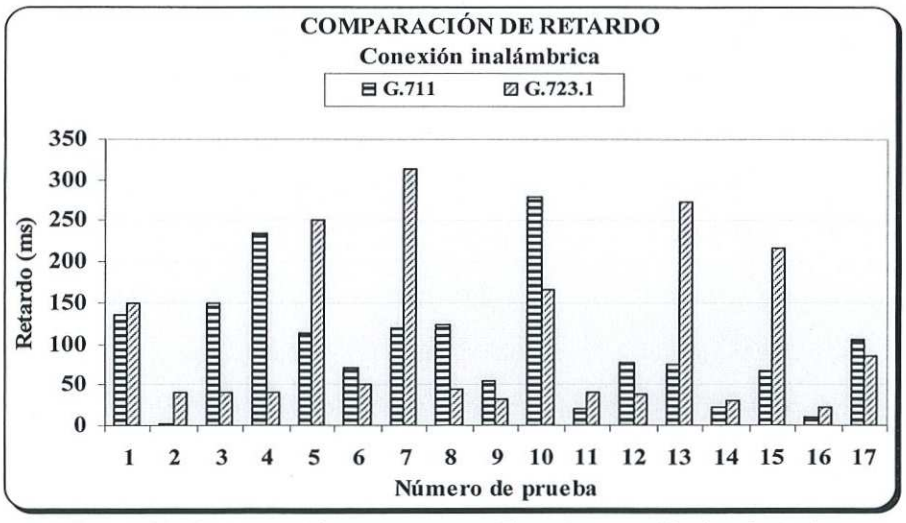


Figura 38. Comparación de retardo utilizando conexión inalámbrica.

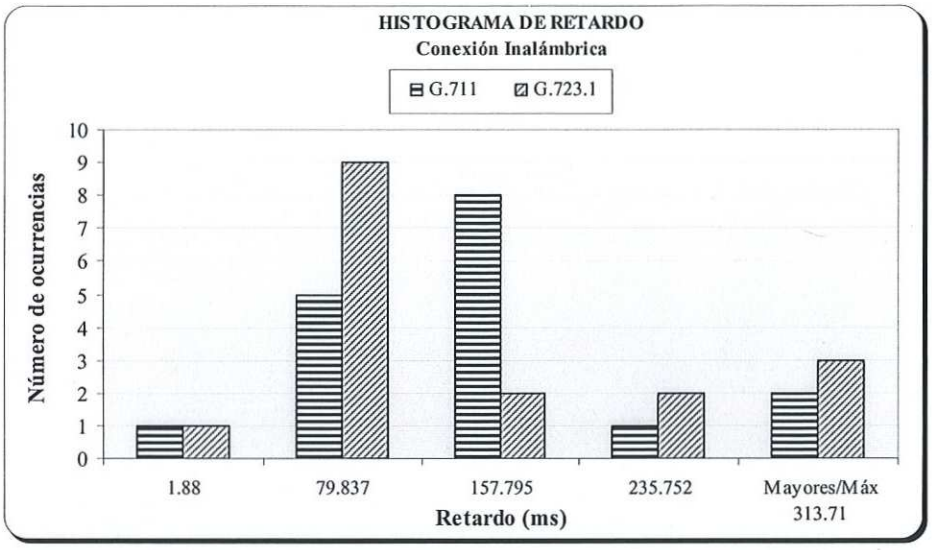


Figura 39. Distribución de valores de retardo utilizando conexión inalámbrica.

Tabla VIII. Estadísticas de retardo utilizando conexión inalámbrica.

RETARDO PARA CONEXIONES INALÁMBRICAS					
G.711			G.723.1		
Bin	**Frecuencia**	**% Acumulado**	**Bin**	**Frecuencia**	% Acumulado
0.11	1	5.88%	1.88	1	**5.88%**
70.05	5	35.29%	79.837	9	**58.82%**
139.99	8	82.35%	157.795	2	**70.59%**
209.93	1	88.24%	235.752	2	**82.35%**
Mayores/Máx 279.87	2	100.00%	Mayores/Máx 313.71	3	**100.00%**
Media		**103.0429 ms**	**Media**		**106.821 ms**

La distribución del retardo en la figura 39, muestra que el codec G.723.1 presenta mayores valores de retardo con respecto al codec G.711 en la mayoría de los casos. Sin embargo no es grande esta diferencia. A pesar de tener altos retardos, alrededor de 200 ms, la media estadística de las pruebas que se muestra en la tabla VIII, ubica estos valores dentro del nivel aceptable de calidad de servicio de acuerdo a la tabla V.

V.2.4. Comparación de jitter en conexiones inalámbricas.

El jitter se incrementa en gran medida al utilizar conexiones inalámbricas debido al medio de comunicación utilizado, como se muestra en la figura 40; en la cual se observan valores de alrededor de 20 a 25 ms, lo que se considera un incremento importante, en

comparación con los valores de 0.01 ms en las conexiones cableadas. Al utilizar este tipo de conexiones la velocidad del enlace varía, por lo tanto los paquetes tienen que esperar un tiempo mayor para ser transmitidos. En este caso el jitter se comporta de una manera similar para ambos codecs, el jitter se ve afectado no solo por el retardo de procesamiento de cada codec, sino también por el tamaño de paquetes generados.

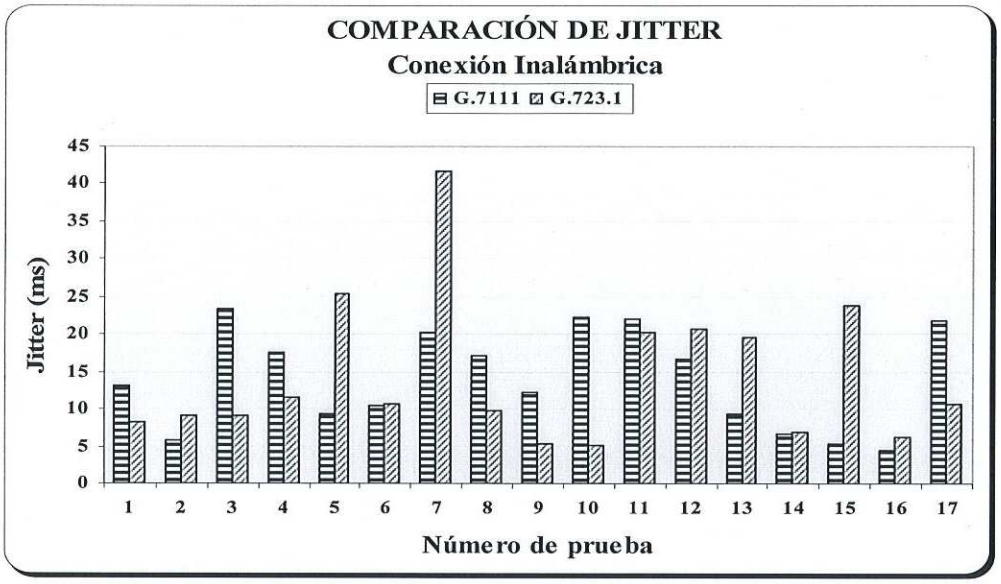


Figura 40 Comparación de jitter utilizando conexión inalámbrica.

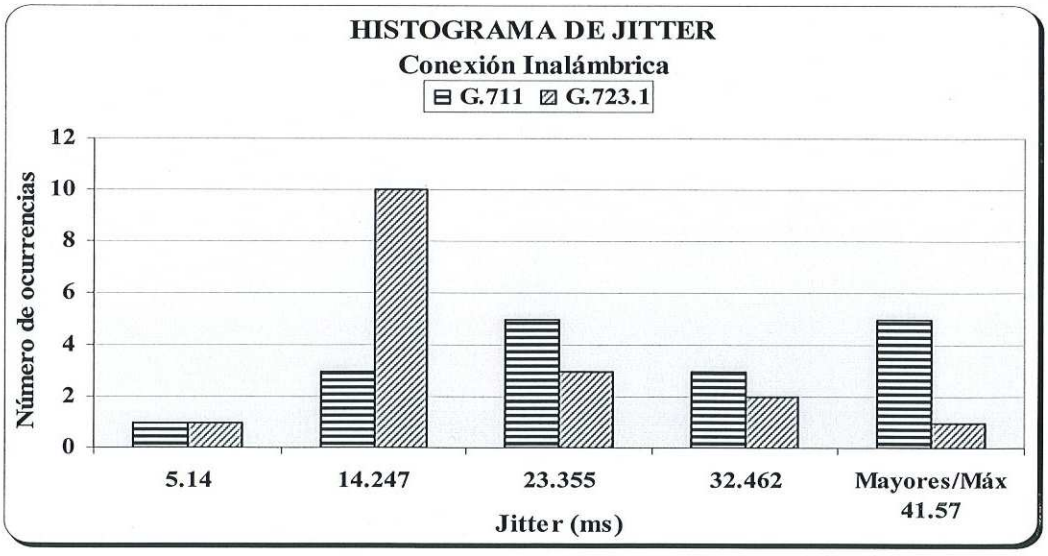


Figura 41 . Distribución de valores de jitter utilizando conexión inalámbrica.

Tabla IX. Estadísticas de Jitter utilizando conexiones inalámbricas.

JITTER PARA CONEXIONES INALÁMBRICAS					
G.711			G.723.1		
Bin	**Frecuencia**	**% Acumulado**	**Bin**	**Frecuencia**	% Acumulado
4.48	1	5.88%	5.14	1	**5.88%**
9.197	3	23.53%	14.247	10	**64.71%**
13.915	5	52.94%	23.355	3	**82.35%**
18.632	3	70.59	32.462	2	**94.12%**
Mayores/ Máx 23.35	5	100.00%	Mayores/ Máx. 23.83	1	**100.00%**
Media		**13.997 ms**	**Media**		**14.358 ms**

En la figura 41, se muestra la distribución del jitter que representa la comparación para ambos codecs de audio. De acuerdo a la tabla IX el valor máximo que se registró fue de alrededor de 14 32 ms al utilizar el codec G.723.1. Sin embargo, las medias estadísticas de ambos codecs de audio resultan muy similares.

V.2.5. Comparación de pérdidas de paquetes (PLR) en conexiones inalámbricas.

A diferencia de las conexiones cableadas donde se tienen niveles de calidad de servicio óptimos para el escenario propuesto, las conexiones inalámbricas presentan mayores niveles de pérdidas de paquetes de una manera significativa, debido ya sea a errores de bit, o por problemas como el jitter y la latencia, que pudieron provocar que los paquetes se desecharan. En la figura 42 se puede observar que el codec G.723.1 alcanza pérdidas de hasta 12% en algunas ocasiones, Sin embargo, la media estadística del PLR para este caso (tabla X) indica que se tienen pérdidas de paquetes menores al 5% en la utilización de ambos codecs de audio.

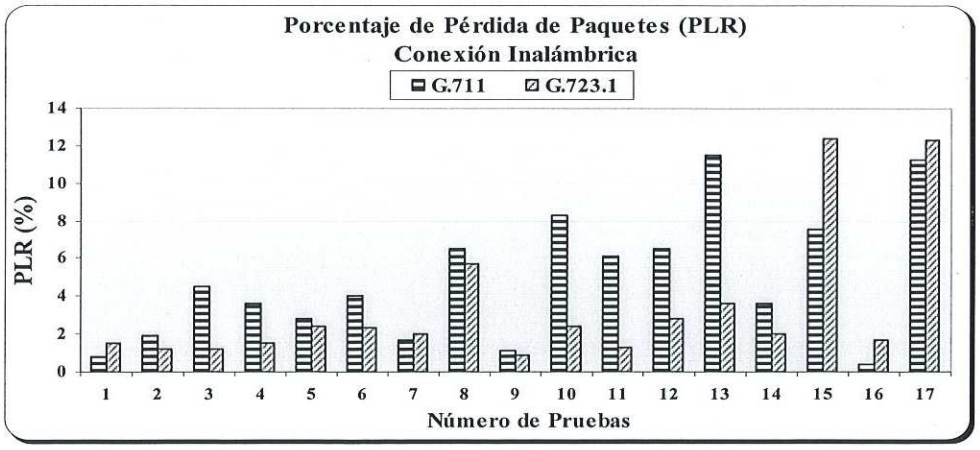


Figura 42. Comparación del PLR utilizando conexión inalámbrica.

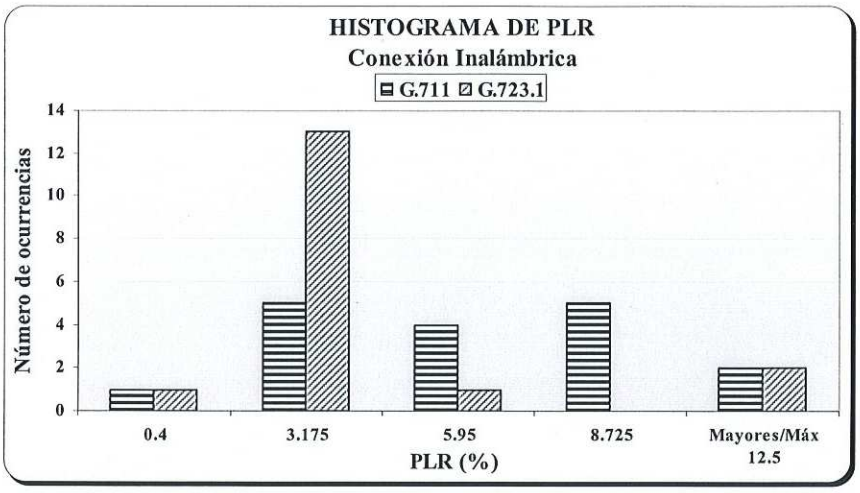


Figura 43. Distribución del PLR utilizando conexión inalámbrica.

En la figura 43, se observa que la mayor distribución de valores de retardo se encuentra por debajo del 5%. Este porcentaje se considera aceptable ya que los algoritmos de predicción de los codecs de audio son capaces de corregir errores cuando el PLR se encuentra dentro de este límite.

Tabla X. Estadísticas para PLR utilizando conexiones inalámbricas.

PLR PARA CONEXIONES INALÁMBRICAS					
G.711			G.723.1		
Bin	**Frecuencia**	**% Acumulado**	**Bin**	**Frecuencia**	% Acumulado
0.4	1	5.88%	0.9	1	**5.88%**
3.175	5	35.29%	3.775	13	**82.35%**
5.95	4	58.82%	6.65	1	**88.24%**
8.725	5	88.24%	9.525	0	**88.24%**
Mayores /Máx 12.5	2	100.00%	Mayores /Máx 12.4	2	**100.00%**
Media		**4.835 %**	**Media**		**3.364 %**

Debido a que se está utilizando un enlace de red de "mejor esfuerzo", la información que se transmite a través de ella es recibida en el mejor de los casos cuando no hay demasiada congestión. Las pérdidas se deben a errores de secuencia en los paquetes o a errores de transmisión, por lo que los paquetes son descartados debido a que se está utilizando el protocolo UDP donde no existen retransmisiones. Sin embargo, se observa en la tabla X que la media estadística de la tasa de pérdida de paquetes se encuentra alrededor de 4.8% y 3.3% para los codec de audio G.711 y G.723.1 respectivamente, lo cual indica que los

paquetes de UDP se reciben correctamente dentro de los límites de calidad según lo establecido en la tabla V.

V.3. Consideraciones para la simulación de transmisión de audio

Las simulaciones se realizaron con el software Network Simulator NS2 versión 2.32 el cual es de licencia libre y trabaja bajo un ambiente Unix. Este simulador resulta útil para el análisis y simulación de redes de comunicaciones, por su flexibilidad para establecer escenarios de diferentes tecnologías, ya sea cableadas, móviles o satelitales, por ejemplo. Sin embargo, se requieren conocimientos básicos del lenguaje de programación C++ y conocer la forma en que se encuentran organizadas las clases de objetos que maneja el simulador para comprender el funcionamiento del mismo. Esta herramienta de simulación está orientada a la calendarización de eventos mediante el lenguaje de programación OTcl. Esto presenta una ventaja, ya que para establecer topologías de enlace se puede recurrir a funciones establecidas o definir las aplicaciones que se usarán con comandos específicos. NS2 posee gran cantidad de aplicaciones ya establecidas como lo son agentes para protocolos UDP y TCP, aplicaciones de tráfico como CBR, ON/OFF con distribuciones uniforme, lognormal o Pareto entre otras. De esta manera, para los escenarios simulados en esta tesis, se consideraron los modelos mencionados en los apartados anteriores de este capítulo utilizando los procedimientos ya establecidos en NS2.

Para el caso de las simulaciones, la medición de parámetros se realizó mediante monitores particulares de NS2, llamados "Loss Monitor", los cuales generan variables con datos de interés, tales como número de bytes y número de paquetes perdidos, entre otros, en nodos específicos de la topología planteada. Estos monitores generan archivos de trazas donde se observan dichos parámetros de acuerdo a la calendarización de eventos programada en la simulación. Para el análisis de las variables de datos se utilizaron programas auxiliares de tipo "awk" para evaluar los archivos de trazas que genera NS2, mediante las ecuaciones correspondientes a cada parámetro de QoS

mencionadas en el capítulo IV. En la figura 44 se muestra el escenario de simulación considerado.

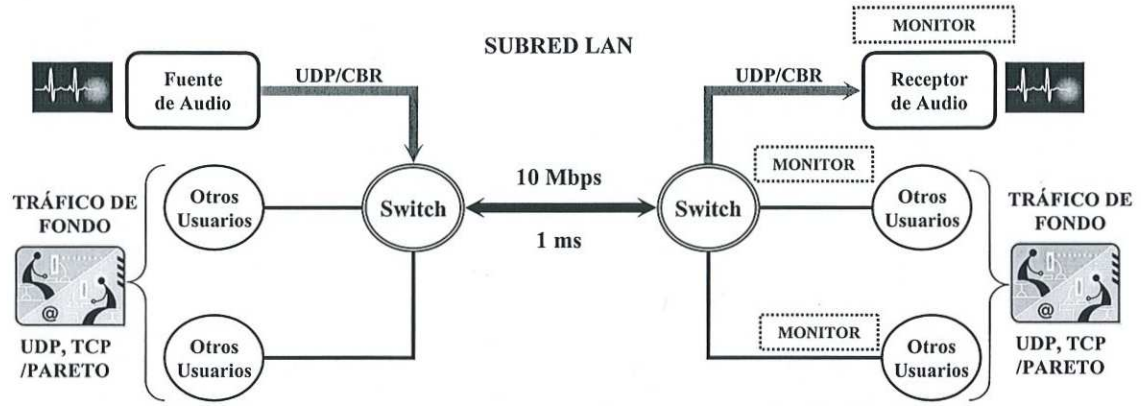


Figura 44. Escenario de conexión considerado para simulación en NS2.

En este escenario se muestra la conexión lógica de los elementos que intervienen en la transmisión de la información médica; las terminales de los usuarios están conectadas físicamente al mismo switch de la subred considerada. Las simulaciones se realizaron para corroborar el comportamiento de los parámetros de QoS extremo a extremo en la transmisión de audio cardiaco. Se realizaron varias iteraciones de la simulación para obtener resultados estadísticos de los parámetros medidos, tal como se hizo en la evaluación experimental.

Para el tráfico de audio se generaron dos agentes de transporte UDP con aplicaciones CBR a diferente tasa de bits, que corresponden a cada uno de los codecs de audio. Para el codec G.711 se utilizó una tasa de 64 kbps y para el codec G.723.1 se estableció una tasa de 6.3 kbps, donde esta última es la que presenta mejor calidad para el caso del codec G.723.1.

El tráfico de fondo se simuló como fuentes aparte de la del audio cardiaco pero que se conecta al mismo switch compartiendo el enlace de comunicaciones. Este tipo de fuentes se simularon como una aplicación sobre UDP con una distribución Pareto con un parámetro de forma de $\alpha = 1.1$.

En el enlace de comunicaciones se consideraron varios saltos para que la información transmitida llegue hacia el nodo destino con el retardo y congestionamiento que implica el compartir el ancho de banda disponible. A continuación se muestran los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

V.4. Resultados de la simulación de transmisión de audio cardiaco.

En este apartado se presentan los resultados de las simulaciones en el escenario considerado donde se plantean condiciones diferentes a las de las mediciones reales en cuanto a la agregación específica de tráfico de fondo de más usuarios.

V.4.1. Comparación de retardo en simulación.

En el escenario de simulación se tuvo un ambiente más controlado, donde los valores de retardo se consideran más estables que en las mediciones de transmisiones reales de audio cardiaco. En este escenario se incluyó otras fuentes de tráfico además del transmisor y receptor de audio cardiaco, con la finalidad de observar las diferencias en ambientes diversos.

El retardo que se obtuvo es significativamente mayor que las mediciones reales con conexiones cableadas, alrededor de 100 ms, lo que correspondería a la transmisión cableada entre terminales de la subred más alejadas, además de tener mayor número de saltos intermedios. Sin embargo, las condiciones aún son favorables ya que se encuentra bajo el umbral de 150 ms. estipulado por la ITU-T G.114 para calidad de audio aceptable.

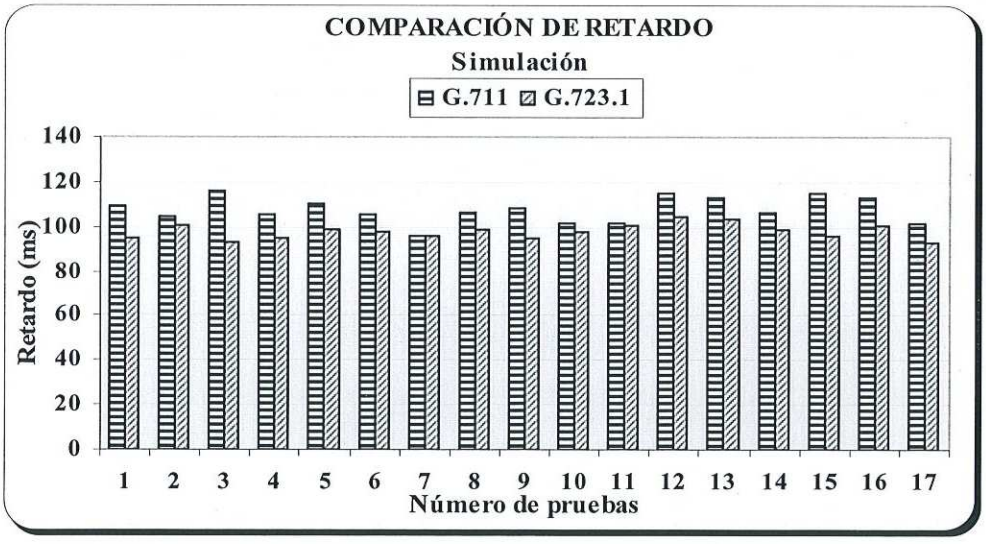


Figura 45. Comparación de valores de retardo en simulación

Como se ha mencionado anteriormente, el retardo depende de diversos factores entre los cuales se encuentran el tiempo de procesamiento y el de transmisión de la información, el

cual a su vez se ve afectado por el tamaño de los paquetes generados. En la figura 45 se observan los resultados del retardo cuando se considera solo el tamaño del paquete. Por lo tanto, bajo esta consideración el codec G.711 presenta mayores retardos ya que sus paquetes son 4 veces más grandes que los del G.723.1, sin embargo, la tasa a la que se producen (64 kbps) compensa la diferencia de retardo entre ambos.

V.4.2. Comparación de jitter en simulación.

El comportamiento del jitter es claro en las simulaciones como lo muestran los resultados de la figura 46, donde se observa que el codec G.723.1 siempre generó valores más altos de jitter. Esto coincide con las mediciones realizadas, donde el codec G.711 también presenta los valores más bajos de jitter. Este comportamiento se debe principalmente a la manera en cómo se paquetiza la información al utilizar un codec en especifico. Esto se traduce en la cantidad de tramas que tienen que ser procesadas y retardadas cuando se llega a un punto intermedio del enlace. El codec de audio G.723.1 posee mecanismos de predicción en caso de pérdida de paquetes por errores de bit, sin embargo el jitter no puede evitarse mediante estos mecanismos.

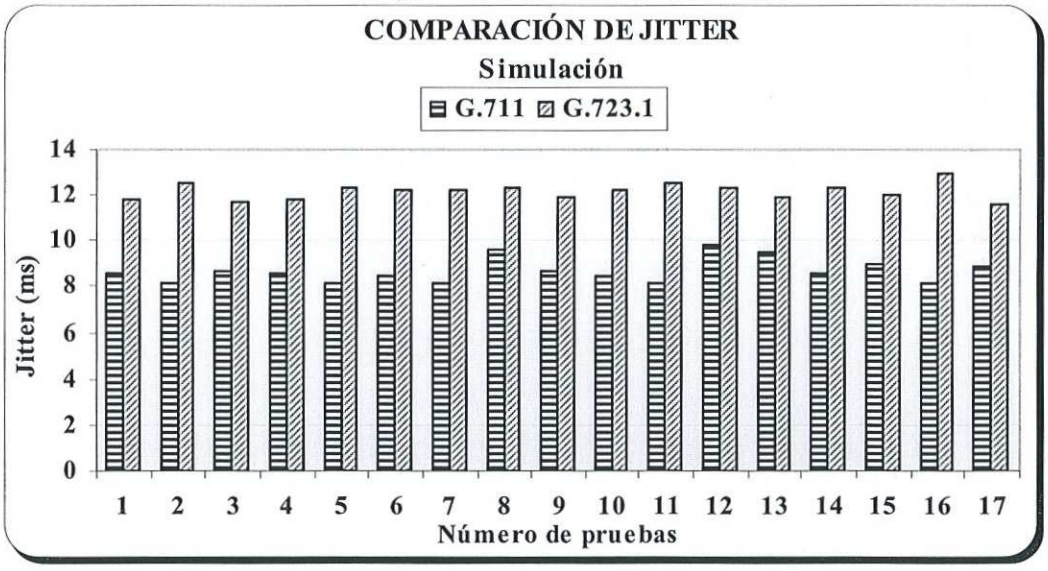


Figura 46. Comparación de valores de jitter en simulación

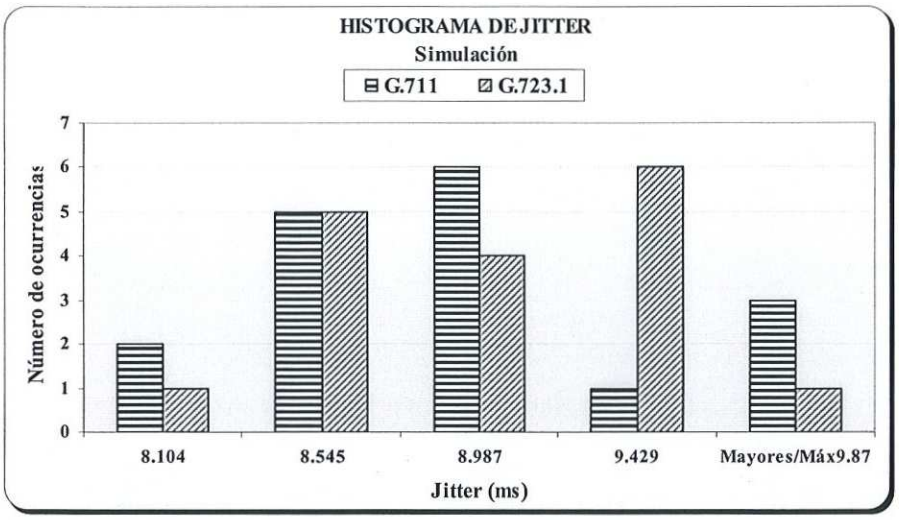


Figura 47. Distribución de jitter en simulación.

En la figura 47 se muestra la distribución del jitter donde se observa que el codec G.723.1 tuvo el valor más alto alrededor de 11 ms a diferencia del codec G.711, el cual tuvo mayor número de ocurrencias alrededor de los 8 ms.

V.4.3. Comparación de porcentaje de pérdidas de paquetes en simulación.

En cuanto al porcentaje de la tasa de pérdidas de paquetes que presentan los dos codecs de audio, los valores son muy similares entre sí, como lo muestra la figura 48. Sin embargo, la calidad del audio cardiaco puede verse afectada de manera distinta de acuerdo a las condiciones en que se codifican las señales. Para el caso del codec G.711, donde no existe compresión alguna de la información, se tienen paquetes de mayor tamaño que los generados por el codec G.723.1, el cual posee más información de audio por cada paquete en comparación con los del codec G.711. Esto tiene una gran influencia en la calidad del audio en tal medida que a mayor cantidad de información que contenga un paquete (mayor compresión), mayor será la degradación de la calidad cuando este se pierda. Por otro lado, el codec G.723.1 maneja mecanismos de cancelación de errores de bit aleatorios mediante algoritmos de predicción que son capaces de mantener una calidad aceptable si las pérdidas no rebasan el límite del 5%.

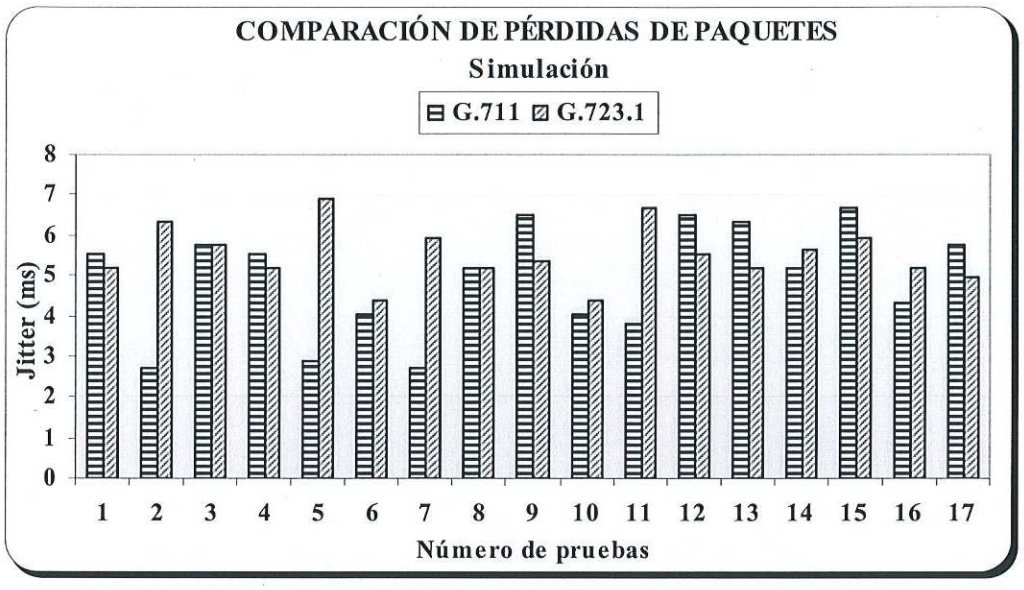


Figura 48. Comparación de valores de porcentaje de pérdidas de paquetes en simulación.

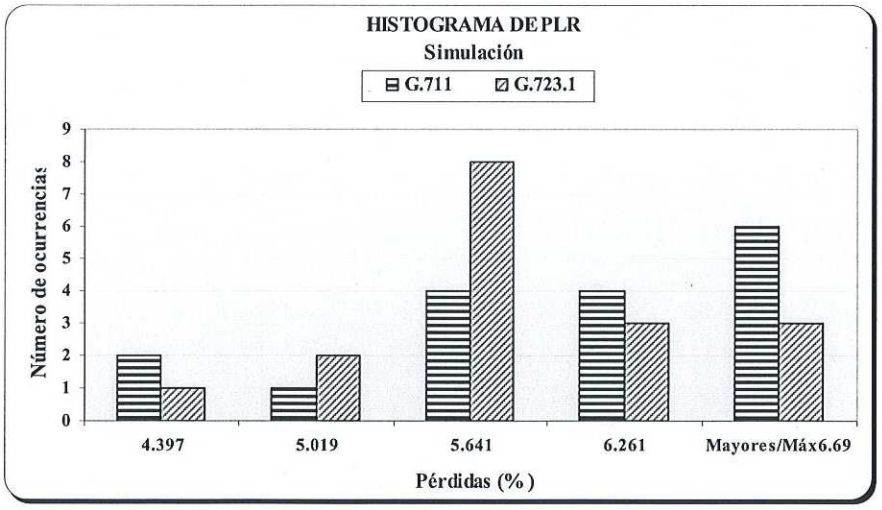


Figura 49. Distribución del PLR en simulación.

La figura 49 muestra la distribución de valores del PLR donde los valores más altos los presenta el codec G.711 en comparación con el G.723.1.

V.4.4. Comparación del caudal eficaz en simulación.

La comparación de este parámetro se realizó con la finalidad de mostrar la gran diferencia que existe en el consumo de ancho de banda por cada codec de audio. Si bien los dos codecs se comportan de una manera estable y constante, es importante considerar el consumo de recursos al transmitir información médica con cierto nivel de calidad.

La consideración de este parámetro se considera útil para determinar cuál es codec de audio adecuado, de acuerdo a las condiciones del enlace de comunicaciones que se empleará para la transmisión de información. El codec G.711 presenta una mejor calidad pero requiere un alto consumo de ancho de banda en comparación con el G.723.1, como se observa en la figura 50.

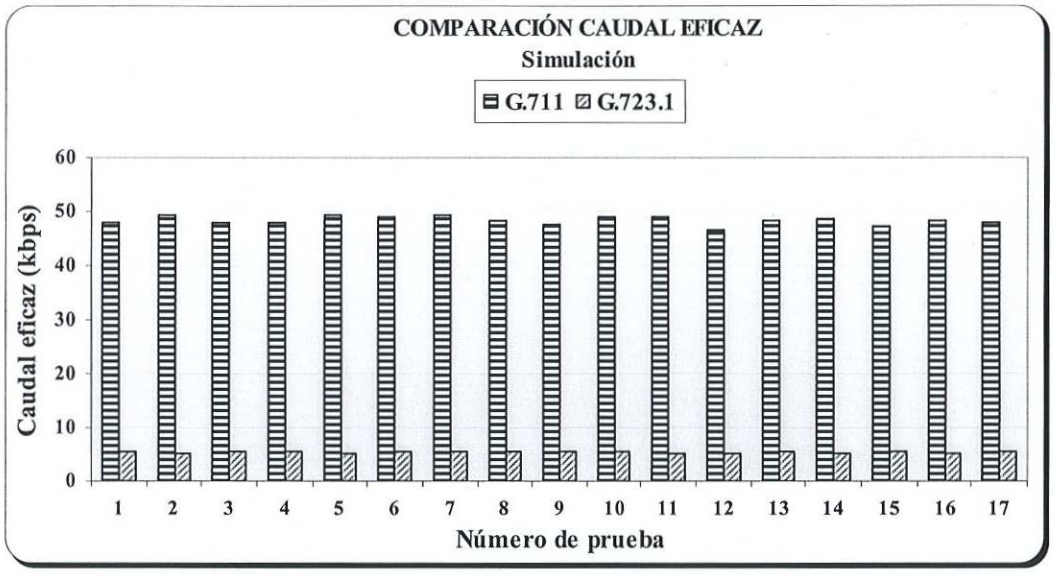


Figura 50. Comparación de valores de caudal eficaz en simulación

V.5. Análisis de resultados entre conexiones cableadas e inalámbricas

En las gráficas expuestas en el apartado V.2 se han observado mejores niveles de calidad de servicio en relación a los parámetros considerados para los escenarios donde se tiene una conexión cableada y se utiliza el codec de audio G.711. A continuación se muestra una comparación más detallada entre las conexiones y se realiza el análisis de los resultados obtenidos considerado para redes de mejor esfuerzo donde no se tienen mecanismos que garanticen un nivel específico de calidad de servicio. El objetivo de este análisis es la comparación de los parámetros de QoS en redes locales disponibles para aplicaciones de audio cardiaco.

V.5.1 Comparación de retardo entre conexiones cableadas e inalámbricas.

La codificación, transmisión y decodificación afectan de manera directa a la calidad de la información transmitida en aplicaciones de tiempo real. El retardo es uno de los parámetros que se pretenden disminuir ya sea con el aumento de recursos como el ancho de banda del enlace o la velocidad de transmisión. Sin embargo, existen retardos inherentes a los elementos de la red local que no se pueden evitar o que no es posible garantizar en todas las terminales de los usuarios (debido a la interoperabilidad de equipo) de la red a bajos costos sobre todo en una red de mejor esfuerzo. Tal es el caso del tipo de cableado en las conexiones alámbricas, de las tarjetas de red de las terminales de los usuarios, así como de la potencia de la señal en conexiones inalámbricas.

El análisis de este parámetro es importante cuando se considera el tipo de envío que se requiere de acuerdo a la aplicación médica en cuestión. En nuestro caso, es importante no tener retardos extremos en el enlace, sin embargo si el retardo se mantiene constante, no representa un aspecto crítico en la transmisión de audio cardiaco en el modo "Almacenamiento y Envío". De acuerdo a la recomendación G.114 de la ITU, el retardo extremo-extremo deberá ser menor de 150 ms considerando los tiempos de procesamiento, de transmisión y de almacenamiento (buffering).

De acuerdo a los resultados presentados en la figura 51 y 52 para los codecs de audio G.711 y G.723.1 respectivamente, los escenarios con conexiones cableadas se ubican en un nivel óptimo ya que los retardos son prácticamente nulos, lo cual concuerda con los resultados expuestos en [Pereira, 2005] en cuanto a mediciones en redes LAN de 10 Mbps a través de RTP. En cuanto a las conexiones inalámbricas, se presentan valores máximos de hasta 300 ms, sin embargo la media estadística se centra en valores alrededor de 100 ms para ambos codecs de audio.

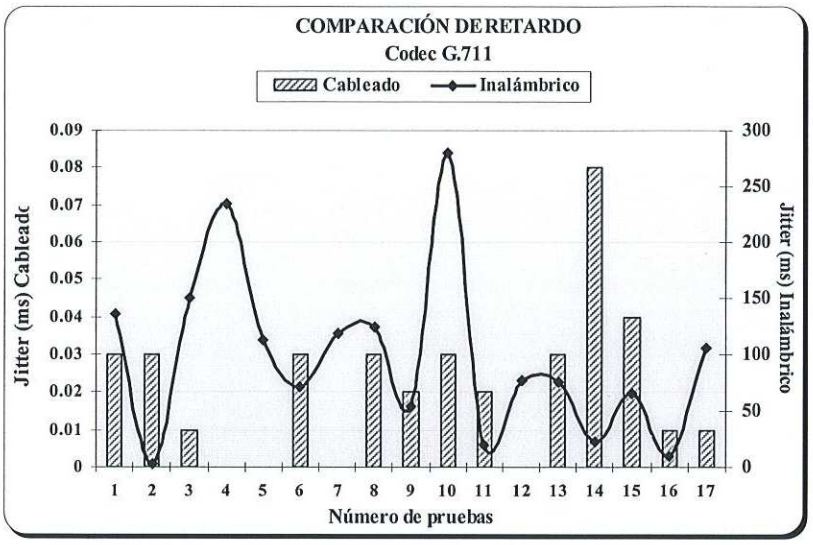


Figura 51. Comparación de retardo utilizando codec G.711

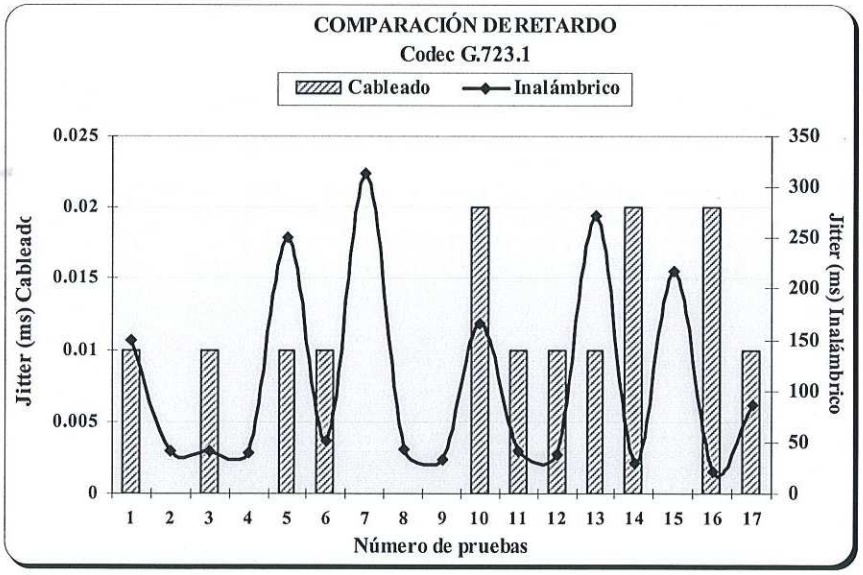


Figura 52. Comparación de retardo para codec G.723.1

A pesar de la superioridad de calidad de las conexiones cableadas sobre las inalámbricas, los valores de retardo en una red local se encuentran dentro de los umbrales de calidad aceptable. El retardo no representa un riesgo crítico para las transmisiones de audio cardiaco ya que el audio se ha grabado previamente. Aún cuando se presentan valores altos de retardo, podría no afectar tanto a la calidad del audio si este se mantiene constante. El retardo se puede disminuir aumentando la velocidad de transmisión del enlace variando el tipo de cableado de la red Ethernet.

V.5.2 Comparación de jitter entre conexiones cableadas e inalámbricas.

Existe una relación entre el jitter y la pérdida de paquetes, ya que al aumentar el jitter se tendrán mayores errores en la decodificación y el codec no será capaz de predecir o contrarrestar este efecto, a pesar de los mecanismos de cancelación de errores en el caso del codec G.723.1. El codec G.711 tiene valores de jitter menores ya que se procesa una sola trama por paquete, sin embargo, esto representa un mayor consumo de ancho de banda. En las figuras 53 y 54 se muestran los resultados de jitter para ambos codecs.

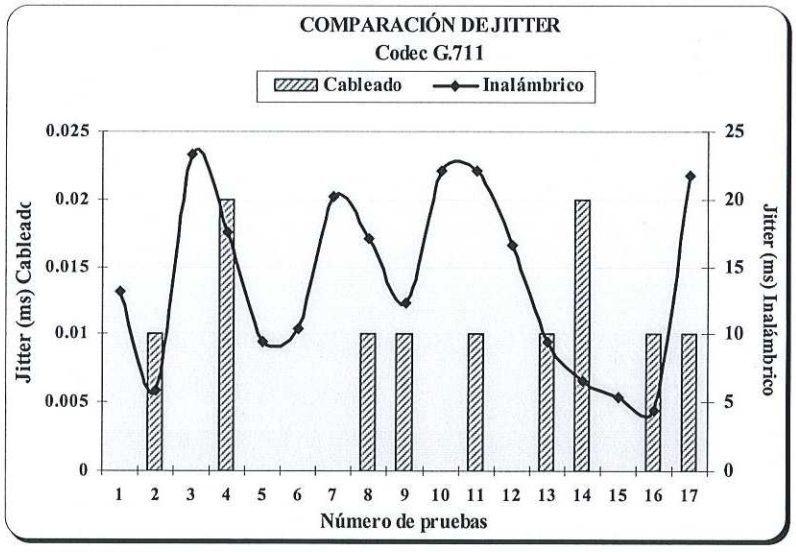


Figura 53. Comparación de jitter entre conexiones cableadas e inalámbricas para G.711.

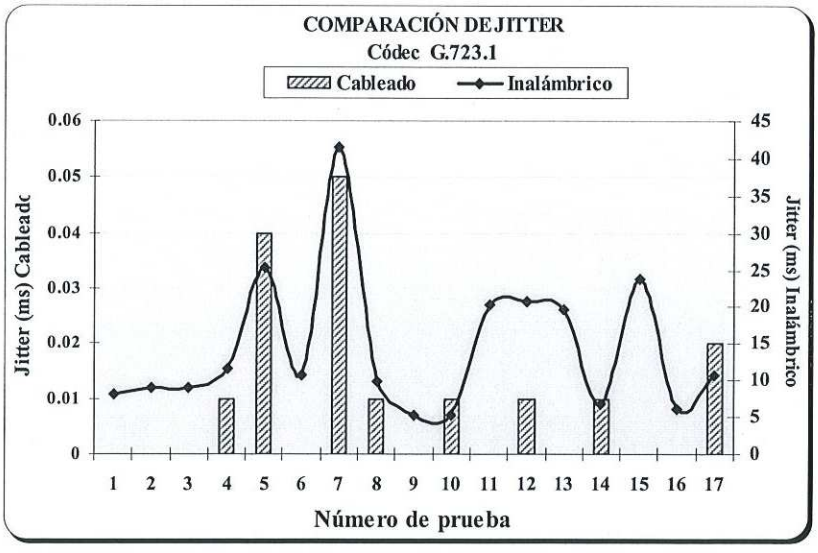


Figura 54. Comparación de jitter entre conexiones cableadas e inalámbricas para G.723.1.

El jitter es el parámetro más crítico en aplicaciones de audio, ya que afecta directamente la claridad de los archivos de audio, debido a las interrupciones que provoca en ellos. Por lo que se tiene una relación del jitter con el porcentaje de pérdidas. El problema de jitter se puede resolver aumentando la capacidad de almacenamiento (buffers) para que los paquetes no sufran tanta variación al momento de entrar a las colas de espera en los nodos intermedios. Sin embargo, en redes locales o de mejor esfuerzo, difícilmente se tiene acceso a la configuración de los buffers, por lo que es importante que se analicen los niveles de jitter que las redes locales brindan en aplicaciones de cardiología. El tráfico transmitido a través de redes cableadas puede resultar estable, pero la congestión en la red debido a la transmisión en horas pico puede afectar los niveles de congestión, provocando que el jitter aumente debido a tráfico con diferentes tamaños de paquetes. Al conocer los niveles de jitter que presentan ciertos escenarios de red bajo condiciones similares a las expuestas, se pueden realizar estimaciones del comportamiento en ese momento para decidir el momento de transmisión, así como el codec de audio más apropiado para satisfacer un nivel de calidad aceptable.

V.5.3 Comparación de PLR entre conexiones cableadas e inalámbricas.

El porcentaje de pérdidas de paquetes en aplicaciones de audio cardiaco no representan una degradación tan fuerte como el jitter. A pesar de esto, la calidad del audio está relacionada al tipo de codificador que se utilice en la transmisión por el uso de algoritmos de compresión y predicción. Los codecs que ofrecen altas tasas de compresión manejan mayor cantidad de información de audio por paquetes al agrupar varias tramas en un solo paquete con el objetivo de disminuir el consumo de ancho de banda. Por esta razón, la pérdida de paquetes específicos de algún codificador impactará de manera diferente en la calidad del audio. De esta manera, se observa en la figura 55, que en conexiones cableadas las pérdidas son nulas para ambos codecs, debido a las condiciones óptimas del medio de transmisión. Por otra parte, en conexiones inalámbricas donde existe un medio de transmisión adverso existe mayor posibilidad de errores, sin embargo los mecanismos de predicción del codec G.723.1 permiten tener un PLR menor que el codec G.711 en un ambiente con baja velocidad de transmisión como fue el inalámbrico.

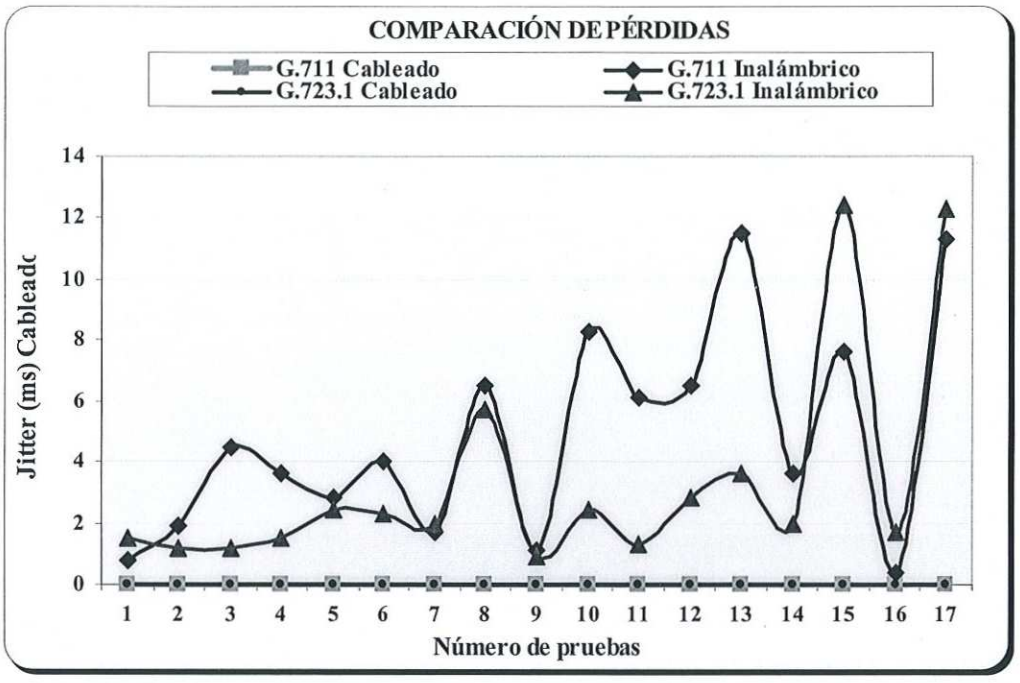


Figura 55. Comparación de PLR entre conexiones cableadas e inalámbricas para G.711

Al utilizar redes LAN sin mecanismos que aseguren un nivel de QoS, es sumamente difícil predecir los niveles de jitter y pérdidas que se agregarán en las conexiones de red, a menos que se tenga un ancho de banda dedicado disponible o se establezcan prioridades de servicio para aplicaciones de audio en tiempo real. Se puede aumentar el ancho de banda disponible con la finalidad de que se garanticen ciertos niveles de caudal eficaz para múltiples aplicaciones, pero no se podrán controlar los niveles de jitter promedio.

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se exponen las conclusiones finales que se desprenden de los resultados obtenidos en el capítulo anterior y en relación con los objetivos planteados al inicio de esta tesis. También se enumeran las aportaciones de este trabajo de investigación al área de la Telemedicina, específicamente en el área de Cardiología. Finalmente se recomiendan líneas de investigación futuras tomando como referencia el análisis aquí presentado.

VI.1. Conclusiones

A continuación se exponen en varios apartados, las conclusiones que se obtuvieron en las diferentes áreas que se analizaron en este trabajo de tesis.

VI.1.1. Diferenciación de información médica

En este trabajo de investigación se ha hecho un análisis de los aspectos y condiciones necesarias para la evaluación de redes de comunicaciones locales para su utilización en aplicaciones médicas de cardiología. Se ha expuesto la importancia de la diferenciación del tipo de información médica que se transmitirá, así como la elección de las tecnologías disponibles para satisfacer niveles de calidad de servicio adecuadas a cada especialidad y estudios médicos. De esta manera, se tiene que los niveles de calidad requeridos para cardiología varían en relación a otro tipo de información médica propia de otras especialidades como radiología, donde se envían imágenes, o en la transmisión de datos como un expediente médico digital. Para el área de cardiología, se analizó la transmisión de audio correspondiente al ciclo cardiaco de personas sanas y se concluye lo siguiente:

* El análisis de QoS mediante parámetros objetivos como lo son el retardo, jitter, pérdidas y ancho de banda, ofrece un panorama claro de los aspectos críticos en el envío de audio cardiaco y de los umbrales de tolerancia que se deben considerar para satisfacer la calidad de servicio necesaria, ya que esta repercutirá directamente en la elaboración de diagnósticos de los pacientes.

* Se prefiere el modo de "Almacenamiento y Envío" para la transmisión de audio cardiaco en redes locales, ya que debido al comportamiento del ritmo cardiaco, se puede obtener una mejor calidad en la recepción al tener dispositivos de almacenamiento (buffers) que permitan un menor jitter en el audio recibido y por lo tanto menores interrupciones.

* Se observó que el parámetro de Jitter es el más crítico en la calidad de audio, ya que debido a la variación del retardo, se pueden tener interrupciones en el audio que resulten en una grabación ininteligible.

VI.1.2. Redes locales de comunicaciones

Entre las diferentes tecnologías de redes de comunicaciones, se eligieron las redes locales utilizando Ethernet, con conexiones cableadas e inalámbricas mediante el estándar 802.11b, por su disponibilidad y por considerarse que son representativas de posibles redes internas hospitalarias. Dentro de las ventajas que este tipo de redes representan, están su bajo costo de implementación y fácil instalación, además de la posibilidad de movilidad cuando se utilizan conexiones inalámbricas. Sin embargo, al considerarse como redes de mejor esfuerzo, donde la calidad de servicio no está garantizada mediante mecanismos de reservación de recursos o implementación de prioridades de servicio, es de suma importancia la evaluación de la calidad de servicio que estas redes son capaces de brindar cuando se transmite información médica de cardiología para determinar la viabilidad de su utilización.

* Al utilizar redes LAN sin mecanismos que aseguren un nivel de QoS, es sumamente difícil predecir los niveles de retardo promedio, jitter y pérdida de paquetes que se tendrán en las conexiones de red. Se puede aumentar el ancho de banda disponible con la finalidad de que se garanticen ciertos niveles de caudal eficaz para múltiples aplicaciones, pero no se podrán controlar los niveles de retardo y jitter promedio, ya que estos dependen en gran medida del tráfico que se esté generando por los usuarios de la red y de las horas pico en donde se tienen altos niveles de congestión de la red.

* Incluso realizando reservación de recursos en una red interna, la calidad de servicio también dependerá de la interoperabilidad entre dispositivos de videoconferencia sobre todo al usar por ejemplo, aquellos para los que se especifican ciertos codificadores de audio como obligatorios.

* El uso de conexiones cableadas en la transmisión de audio cardiaco ofrece una mejor calidad de acuerdo a los parámetros analizados, toda vez que se tienen valores menores dentro de los umbrales recomendados en la tabla V del capítulo IV. Las conexiones cableadas en redes locales resultan óptimas al no tener pérdidas de paquetes cuando se transmite la información dentro de una misma subred. Además, se tienen valores de retardo y jitter casi nulos la mayoría de los casos, lo que resulta en un nivel de calidad alto.

* Las conexiones inalámbricas presentan valores mayores de retardo y jitter, además de presentar alrededor del 5% de pérdida de paquetes en promedio. Este tipo de conexiones no resultan tan estables como las cableadas, ya que dependen en gran medida del nivel de potencia en la señal y la velocidad del enlace, relacionados con la cercanía al punto de acceso a la red local.

* En la actualidad existe una tendencia a utilizar las redes inalámbricas para aplicaciones de Telemedicina debido a la posibilidad de movilidad y fácil acceso. A pesar de esto, se necesitan de mecanismos más complejos de control de calidad así

como mejoras en el aspecto de seguridad de acceso a la red, debido a la flexibilidad de conectividad que ofrecen.

* Las redes locales de comunicaciones, tanto en conexiones cableadas como en inalámbricas, resultaron eficientes en la transmisión de información cardiaca entre usuarios de una misma subred, por lo que se recomienda su uso en ambientes hospitalarios con pocos usuarios. Para ambientes donde se tengan altos niveles de congestión y de tráfico se recomienda aplicar políticas de calidad de servicio. Sin embargo para ambientes hospitalarios pequeños, como pudiera ser un ala de cardiología dentro de un hospital, se puede implementar una red LAN donde el tráfico que se genere sea casi exclusivamente para cuestiones de Telemedicina, obteniendo niveles de calidad aceptables.

VI.1.3. Codecs de audio

En la actualidad se han realizado varios estudios y análisis de calidad de servicio en aplicaciones como Voz sobre IP (VoIP) donde se utilizan diferentes codificadores/decodificadores de audio para la transmisión de llamadas de voz en redes internas. Sin embargo, el audio cardiaco es diferente al de la voz, tanto en intervalos de frecuencia como en el comportamiento característico de ambos. Por lo que el análisis realizado en este trabajo de tesis sienta las bases para trabajos futuros en el área de telemedicina. Ya que se realizaron pruebas reales de transmisiones de audio cardiaco, utilizando dos de los codecs más utilizados actualmente en sistemas de videoconferencia, lo cual no se había realizado específicamente para aplicaciones de cardiología, hasta el momento de la publicación de esta tesis. La elección del codec de audio será una decisión final del usuario en función de los recursos del enlace de comunicaciones de que disponga, teniendo un compromiso entre calidad del audio y consumo de ancho de banda. De acuerdo al análisis realizado de los niveles de QoS mediante el uso de los codecs de audio se observó lo siguiente:

* Los codecs de audio para voz que existen en la actualidad, específicamente el G.711 y el G.723.1 pertenecientes a la familia G.7xx del estándar de la ITU H.323 para videoconferencia, son suficientemente eficientes para el procesamiento de audio cardiaco y su transmisión a través de redes locales; aún cuando este se encuentre en un intervalo de frecuencias menor al de la voz, ya que presentan niveles aceptables de calidad de servicio de acuerdo a los umbrales establecidos en la tabla V.

* Como se expuso en el capítulo IV, los codecs de audio analizados presentan comportamientos similares, teniendo ligeras diferencias en los parámetros de QoS cuando se utilizaron conexiones cableadas. Sin embargo, es en condiciones adversas del enlace de comunicaciones, como la conexión inalámbrica, donde se presentan las mayores diferencias en los parámetros como el jitter y el retardo debido a que se tiene un compromiso mayor entre los retardos del enlace y el tiempo de procesamiento de los codecs.

* De acuerdo a los resultados generados, se concluye que el codec G.711 brinda una mejor calidad al no tener compresión; sin embargo, esta característica limita el ancho de banda al generar paquetes de mayor tamaño que el codec G.723.1. Sin embargo, el codec G.723.1 puede sustituir al G.711 cuando se tienen pérdidas menores al 5% gracias a su mecanismo de predicción y cancelación de errores, por lo que se puede hacer uso de este codificador sin sacrificar demasiado la calidad y optimizando el consumo de ancho de banda.

* Por lo anterior, para aplicaciones en tiempo real donde el ancho de banda disponible se pueda aumentar fácilmente, se recomienda el uso del codec G.711. En cambio, para ambientes donde no se requiere una calidad óptima y se tengan tolerancia a pocas pérdidas, se recomienda el uso del codec G.723.1.

La tabla XI resume algunas recomendaciones del uso de estos codificadores en aplicaciones de Telemedicina.

Tabla XI. Recomendaciones para el uso de los codecs G.711 y G.723.1 en aplicaciones de Telemedicina.

RECOMENDACIÓN DE USO DE CODECS PARA APLICACIONES MÉDICAS	
APLICACIONES	**CODEC**
Tele Homecare (monitoreo casero)	G.711
Monitoreo de signos vitales con dispositivos portátiles	G.723.1
Monitoreo de signos vitales en hospitalización	G.711
Telemedicina laboral	G.711
Videoconferencia de Emergencia	G.723.1

VI.1.4. Implementación de sistemas de Telemedicina

La Telemedicina tiene una importante contribución para brindar atención médica, sobre todo a aquellas zonas rurales o marginadas, disminuyendo la desigualdad en la provisión de servicios médicos generales y disminuyendo costos innecesarios en traslados para servicios de atención especializada. La implementación de sistemas de Telemedicina influye sustancialmente en la manera en que se proporcionan los servicios de salud beneficiando directamente a la población, así como a los proveedores de servicios médicos en distintos sectores y niveles demográficos. Por lo tanto, es imprescindible el análisis de los requerimientos y clasificación de la información cuando se pretenden diseñar y aplicar sistemas de Telemedicina en entornos reales para satisfacer las necesidades sociales que en la actualidad se requieren.

El éxito de su implementación estará en función de ciertos indicadores que complementan el análisis tecnológico de las Telecomunicaciones como son indicadores de costo-beneficio, relacionado con los costos de la instalación de equipo y del servicio de conectividad por parte de los proveedores; costo-oportunidad, el cual está relacionado a las condiciones y experiencia de los sectores que ofrecen los servicios médicos a los que se enfoca este trabajo de tesis; y costo-eficiencia, el cual repercute en el tiempo de vida de los sistemas y la posibilidad de ser autosustentable.

VI.2. Aportaciones

La consideración de las necesidades reales de los usuarios finales o potenciales, que requieran el uso de las tecnologías de la información y comunicaciones para su aplicación en entornos de sanidad como lo es la cardiología, es imprescindible para el continuo desarrollo tecnológico y trabajo de investigación futura.

* Se describió la situación actual en México en cuanto al desarrollo de la telemedicina donde se incluyó un análisis sobre las especialidades con mayor demanda de atención, así como los aspectos clave para brindar servicios de telecardiología.

* En este contexto, el presente trabajo de tesis brinda una pauta en el análisis de redes locales que pudieran implementarse en ambientes hospitalarios, además de establecer umbrales de referencia específicamente en la transmisión de audio cardiaco, los cuales no se encontraron en la búsqueda del estado del arte.

* Se realizó un estudio de las características del audio cardiaco generado por un estetoscopio digital, en las cuales se incluyen el intervalo de frecuencias en los que se identifican los sonidos del ciclo cardiaco en relación con los codificadores de audio que existen actualmente. Lo cual es importante para la intervención de nuevas técnicas de digitalización compresión y transmisión del audio, para su envío a través de redes de comunicaciones.

* Por otro lado, se realizó la evaluación de codecs de audio diseñados para la voz humana para comprobar la factibilidad de utilizarlos en aplicaciones de cardiología en la transmisión específica de audio cardiaco generado por un estetoscopio digital. Este estudio no se había realizado en redes locales de comunicaciones analizando al mismo tiempo la calidad de servicio.

* Se realizó la comparación de la calidad de servicio que son capaces de ofrecer las conexiones cableadas e inalámbricas dentro de una red LAN, para recomendar las condiciones de uso en cada caso para la transmisión de información médica a través de ellas.

VI.3. Recomendaciones y trabajo futuro

A continuación se enlistan algunas recomendaciones para continuar con la línea de investigación en el área de las Telecomunicaciones para aplicaciones de Telemedicina y Telecardiología.

* Continuar con el análisis de requerimientos tecnológicos para la transmisión de información de estudios complementarios de la especialidad de cardiología como electrocardiograma y radiografías torácicas en tiempo real mediante diferentes tecnologías de comunicaciones. Esto con la finalidad de completar un estudio integral para el área de la Telecardiología.

* A pesar de ser útiles en la codificación de audio cardiaco, los algoritmos de predicción de voz de los codecs de audio G.7xx están diseñados en función de ciertos fonemas vocales, por lo que podrían no ser necesariamente adecuados para el audio de sonidos cardiacos. Por lo tanto, se recomienda un estudio más a fondo acerca del procesamiento de las señales cardiacas, incluyendo el análisis de componentes espectrales, con dichos codecs o incluso realizar el diseño de nuevos codificadores/ decodificadores especialmente diseñados para audio cardiaco.

* Realizar el estudio e implementación de mecanismos de control de calidad necesarios en redes de comunicaciones locales, tales como DiffServ, o MPLS para ofrecer garantía de niveles de QoS para aplicaciones de cardiología.

* Considerando la tendencia al uso de dispositivos médicos portátiles de monitoreo, en ambientes hospitalarios o particulares para la transmisión de información médica se recomienda realizar el análisis y evaluación de parámetros de QoS en redes inalámbricas como WiFi o WiMax, así como mecanismos de seguridad en el acceso y envío de información médica a través de estos dispositivos portátiles.

REFERENCIAS

- Aguayo Ortuño, M.A., 2004. *Determinación del factor de degradación del servicio para la verificación de SLAs en los servicios de videoconferencia y VoIP*. Tesis de Maestría, CICESE, México. 113 pp.
- Borray Martínez G.A., Páez Sánchez J.P., Wilches Durán J.M., Julio 2001. *Modelado matemático del tráfico de redes de telecomunicaciones de acceso fijo.* Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrónica. Reporte interno. 11 pp.
- Casilari E., Lecuona A. R., Sandoval Francisco, Díaz Estrella A., 2000. *Modelado de tráfico telemático.* Mundo electrónico, 306: 48-53 pp.
- Castellanos C.G., Marín D.M., Cerquera E.A. y Delgado E. 2006. *Análisis computarizado de registros fonocardiográficos para la detección de soplos cardiacos*. 13(3): 171-179 pp.
- CENETEC, 2007. *Recomendaciones para la operación de sistemas de telemedicina*, Secretaría de Salud, México. 42 pp.
- Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud, CENETEC, 2007. *Serie: Tecnologías en salud* Volumen 3, Telemedicina. Primera edición, México.194 pp.
- Couto da Silva A.P., Varela M., Souza e Silva E. Leao R.M y Rubino G. 2008. *Quality assessment of interactive voice applications*.52: 1179-1192 pp.
- Ferguson P. y Huston G. 1998. *Quality of Service Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*. New York. John Wiley & Sons,Inc. 266 pp.
- García Mendoza, R., 2007. *Análisis de parámetros de QoS en videoconferencia y otras aplicaciones médicas a distancia sobre enlaces satelitales*. Tesis de Maestría. CICESE, México. 136 pp.
- Guyton A.C., 2000. *Tratado de fisiología médica*. Mc Graw Hill, Edición 10a. Capítulo 23: 295-304 pp.
- Ignacio Sánchez D., 2000. *Atlas de Ruidos Respiratorios.* Departamento de Pediatría. Universidad Católica de Chile. Informe interno. 5 pp.
- International Telecommunications Union, (ITU), 2003. *Recomendación UIT-T G.114. One-way Transmission Time*, ITU Geneva. 20 pp.

- International Telecommunications Union, (ITU), 2004. *Circular TSB 217. COM 16/SCN*, Anexo 1. 5 de marzo de 2004. ITU Geneva. 5 pp.
- International Telecommunications Union, (ITU), 2006. *Recomendación UIT-T G.723.1. Codec de voz de doble velocidad para la transmisión en comunicaciones multimedia a 5,3 y 6,3 kbit/s.* ITU Geneva. 66 pp.
- International Telecommunications Union, (ITU),1998. *Recomendación UIT-T G.711. Modulación por impulsos codificados de frecuencias vocales.* ITU Geneva. 28 pp.
- International Telecommunications Union, 1996. *Recomendación P.800 Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión.* ITU Geneva. 39 pp.
- International Telecommunications Union, ITU, 1994, *Recomendación E.800. Quality of Service.* ITU Geneva.
- Kurose J.F y Ross K.W. 2003. *Computer Networking*. Segunda edición. Boston. Addison Wesley. 752 pp.
- Llanio Navarro, R; Perdomo González, G., 2005. *Propedéutica Clínica y Semiología Médica*. Editorial Ciencias Médicas, Cuba. Capítulo 2: 9-11 pp.
- López Arias, Juan Carlos, 2005-2006. *Manual de Fisiología. Práctica 4: Fonocardiograma y EKG.* Departamento de Fisiología. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Manual del Programa de Estudios Teórico-Prácticos. 88-92 pp.
- Martínez I., García J., Viruete E., Fernández J., 2006, *Evaluación del rendimiento en escenarios rurales de e-Salud: gestión óptima de usuarios y control QoS.* XXIV Congreso Anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica, Pamplona, España. 6, 7, 8 de noviembre de 2006. 511-514 pp.
- Martínez I., García J., Viruete E., Fernández J., 2006. *Application parameters optimization to guarantee QoS in EHealth Services*. Proceedings of the 28th IEEE EMBS Annual International Conference, New York City, EEUU. 30 de Agosto- 3 de Septiembre, 2006. 4 pp.
- Martínez Ruiz, Ignacio, 2006. *Contribuciones a modelos de tráfico y control de QoS en los nuevos servicios sanitarios basados en telemedicina*. Tesis doctoral. Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón. España. 200 pp.

- Monteagudo J.L., Serrano L., Hernández Salvador C., 2005, *La telemedicina: ¿ciencia o ficción?*. An. Sist. Sanit. Navar. 28 (3): 309-323 pp.
- Norma Oficial Mexicana, 1998. *Expediente Clínico*. NOM-168-SSA1-1998. 17 pp.
- OMS, Organización Mundial de la Salud, 1998. *A Health Telematics Policy*. Report of the WHO Group Consultation on Healths Telematics. Génova. 11-16 de diciembre. 43 pp.
- Pereira Hugo, Curado Marília, Carvalho P.,2005. *QoS in real time data transmission*. Centre for Informatics and Systems, University of Coimbra, Portugal. Artículo interno. 8 pp.
- Roychoudhuri Lopamudra, Al-Shaer Ehab, Brewster Gregory B., 2006. *On the impact of loss and delay variation on Internet packet audio transmission*. Computer Communications 29. Elsevier. 1578-1589 pp.
- Secretaría de Salud, 2000. *Bases de datos de mortalidad. http://sinais.salud.gob.mx/basesdedatos/*. Último acceso Agosto, 2008.
- Secretaría de Salud, 2007. *Recomendaciones para la operación de sistemas de telemedicina*. CENETEC, México. 42 pp.
- Tamariz Flores, Edna, 2006. *Análisis comparativo de QoS entre redes de comunicaciones para proporcionar servicios de salud a distancia*. Tesis de maestría, CICESE.119 pp.
- Tanenbaum A.S. 1996. *Computer Networks*. Tercera edición. Upper Saddle River, New Jersey. Prentice Hall PTR. 813 pp.
- Tatipamula M. y Khasnabish B. 1998. *Multimedia Communications Networks Technologies and Services*. Boston. Artech House. 631 pp.
- Turuen Jari, Loula Pekka, Lipping Tarmo, 2005, *Assessment of objective voice quality over best-effort networks*. Computer Communications 28, Elsevier. 582-588pp.

ANEXO A. ESTADÍSTICAS DE SALUD

A continuación se muestran algunas de las estadísticas realizadas por el INEGI y la Secretaría de Salud de México acerca de las principales causas de muerte en Veracruz para el año 2006, en las cuales se observa que las enfermedades del sistema circulatorio están en primer lugar con respecto a otros padecimientos.

Tabla 1. Causas de mortalidad en México reportadas por institución de salud pública. 1a Parte.

DEFUNCIONES HOSPITALARIAS REGISTRADAS EN LAS INSTITUCIONES PÚBLICAS DEL SECTOR SALUD POR CAUSA DE MUERTE SEGÚN RÉGIMEN E INSTITUCIÓN
2006

CUADRO 5.19
(1ª Parte)

CAPÍTULO CIE-10	CAUSA DE MUERTE	TOTAL	SEGURIDAD SOCIAL					
			IMSS NORTE	IMSS SUR	ISSSTE	PEMEX	SEDENA	SEMAR
	TOTAL	8,454	2,003 a/	1,679	384	491	65	102
I00-I99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA CIRCULATORIO	1,718	535	350	72	119	17	31
E00-E90	ENFERMEDADES ENDOCRINAS, NUTRICIONALES Y METABÓLICAS	1,294	472	310	90	18	11	18
K00-K93	ENFERMEDADES DEL SISTEMA DIGESTIVO	1,037	225	262	35	70	8	12
C00-D48	TUMORES (NEOPLASIAS)	911	299	227	32	54	6	15
J00-J99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA RESPIRATORIO	746	149	158	45	75	4	9
P00-P96	CIERTAS AFECCIONES ORIGINADAS EN EL PERIODO PERINATAL	654	0	73	6	2	4	4
A00-B99	CIERTAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS Y PARASITARIAS	587	73	104	35	18	5	4
N00-N99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA GENITOURINARIO	431	100	80	24	46	2	6
V01-Y89	CAUSAS EXTERNAS DE MORBILIDAD Y MORTALIDAD	289	13	38	0	11	0	0
Q00-Q99	MALFORMACIONES CONGÉNITAS, DEFORMIDADES Y ANOMALÍAS CROMOSÓMICAS	230	13	31	1	1	0	0
G00-G99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA NERVIOSO	169	20	27	5	19	5	1
R00-R99	SÍNTOMAS, SIGNOS Y HALLAZGOS ANORMALES CLÍNICOS Y DE LABORATORIO, NO CLASIFICADOS EN OTRA PARTE	155	27	0	30	49	3	2
F00-F99	TRASTORNOS MENTALES Y DEL COMPORTAMIENTO	74	22	3	0	0	0	0
D50-D89	ENFERMEDADES DE LA SANGRE Y DE LOS ÓRGANOS HEMATOPOYÉTICOS, Y CIERTOS TRASTORNOS QUE AFECTAN EL MECANISMO DE LA INMUNIDAD	62	30	6	0	3	0	0
O00-O99	EMBARAZO, PARTO Y PUERPERIO	36	1	1	8	0	0	0
M00-M99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA OSTEOMUSCULAR Y DEL TEJIDO CONJUNTIVO	36	15	4	1	3	0	0
L00-L99	ENFERMEDADES DE LA PIEL Y DEL TEJIDO SUBCUTÁNEO	24	9	4	0	3	0	0
H60-H95	ENFERMEDADES DEL OÍDO Y DE LA APÓFISIS MASTOIDES	1	0	1	0	0	0	0

Tabla 2. Causas de mortalidad en México reportadas por institución de salud pública. 2a Parte.

DEFUNCIONES HOSPITALARIAS REGISTRADAS EN LAS INSTITUCIONES PÚBLICAS DEL SECTOR SALUD POR CAUSA DE MUERTE SEGÚN RÉGIMEN E INSTITUCIÓN
2006

CUADRO 5.19
(2ª Parte y última)

CAPÍTULO CIE-10	CAUSA DE MUERTE	ASISTENCIA SOCIAL			SS
		IMSS-OPORTUNIDADES NORTE	IMSS-OPORTUNIDADES SUR	HOSPITAL DE GINECOLOGÍA Y OBSTETRICIA UV	
	TOTAL	175	36	6	3,513
I00-I99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA CIRCULATORIO	21	2	0	571
E00-E90	ENFERMEDADES ENDOCRINAS, NUTRICIONALES Y METABÓLICAS	11	4	0	360
K00-K93	ENFERMEDADES DEL SISTEMA DIGESTIVO	13	5	0	407
C00-D48	TUMORES (NEOPLASIAS)	5	1	0	272
J00-J99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA RESPIRATORIO	16	6	0	284
P00-P96	CIERTAS AFECCIONES ORIGINADAS EN EL PERIODO PERINATAL	68	7	5	485
A00-B99	CIERTAS ENFERMEDADES INFECCIOSAS Y PARASITARIAS	13	5	0	330
N00-N99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA GENITOURINARIO	4	0	0	169
V01-Y89	CAUSAS EXTERNAS DE MORBILIDAD Y MORTALIDAD	3	0	0	224
Q00-Q99	MALFORMACIONES CONGÉNITAS, DEFORMIDADES Y ANOMALÍAS CROMOSÓMICAS	15	2	1	166
G00-G99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA NERVIOSO	0	1	0	91
R00-R99	SÍNTOMAS, SIGNOS Y HALLAZGOS ANORMALES CLÍNICOS Y DE LABORATORIO, NO CLASIFICADOS EN OTRA PARTE	0	0	0	44
F00-F99	TRASTORNOS MENTALES Y DEL COMPORTAMIENTO	0	1	0	48
D50-D89	ENFERMEDADES DE LA SANGRE Y DE LOS ÓRGANOS HEMATOPOYÉTICOS, Y CIERTOS TRASTORNOS QUE AFECTAN EL MECANISMO DE LA INMUNIDAD	1	0	0	22
O00-O99	EMBARAZO, PARTO Y PUERPERIO	5	2	0	19
M00-M99	ENFERMEDADES DEL SISTEMA OSTEOMUSCULAR Y DEL TEJIDO CONJUNTIVO	0	0	0	13
L00-L99	ENFERMEDADES DE LA PIEL Y DEL TEJIDO SUBCUTÁNEO	0	0	0	8

NOTA: La denominación de las causas de muerte corresponde a los capítulos establecidos en la lista de tabulación para la mortalidad de la *Clasificación Internacional de Enfermedades* en su 10a. revisión.

FUENTE: IMSS, Dirección Regional Sur. Delegación Regional Veracruz Norte. Jefatura de Planeación y Finanzas; Departamento de Presupuesto, Contabilidad y Evaluación Financiera; Oficina de Presupuesto e Información Directiva.
IMSS, Dirección Regional Sur. Delegación Regional Veracruz Sur. Jefatura Delegacional de Prestaciones Médicas; Coord. de Informática Médica.
IMSS, Delegación Regional Tamaulipas. Jefatura Delegacional de Planeación y Finanzas. Departamento de Presupuesto, Contabilidad y Erogaciones.
ISSSTE, Delegación en el Estado. Subdelegación Médica. Departamento de Programación y Desarrollo. Oficina de Bioestadística.
PEMEX. Dirección Corporativa de Finanzas; Gerencia de Integración de Información Institucional.
SEDENA, 19/a y 26/a Zona Militar. Hospital Regional Militar y Enfermería Militar.
SEMAR, 3/a Zona Naval Militar. Armada de México.
Hospital de Ginecología y Obstetricia UV. Dirección Médica.
SS, Servicios de Salud de Veracruz. Dirección de Planeación y Desarrollo; Subdirección de Estadística e Informática. Departamento de Estadística.

ANEXO B. PRINCIPALES SONIDOS CARDIACOS

A continuación se explicarán brevemente la generación y causas fisiológicas que provocan los sonidos cardiacos principales, comúnmente llamados S1, S2, S3 y S4, los cuales conforman el ciclo cardiaco. La identificación de los mismos mediante un entrenamiento especializado permite identificar ciertas patologías relacionadas a enfermedades del corazón, tales como soplos entre otras.

Los cuatro principales sonidos cardíacos están asociados con la apertura y cierre de las válvulas y el flujo de sangre dentro del corazón durante el ciclo cardíaco. Estos sonidos pueden ser escuchados colocando un estetoscopio en la posición correspondiente a los focos de auscultación (mitral, tricuspídeo aórtico y pulmonar) en la superficie del pecho por encima del corazón (Fig. 1). El foco mitral se encuentra en el 5° espacio intercostal, línea media clavicular; el foco trícupideo en la base del apéndice xifoides, borde esternal izquierdo; el foco aórtico en el 2° espacio intercostal, línea paraesternal derecha y el foco pulmonar en el 2° espacio intercostal, línea paraesternal izquierda.

El primer sonido cardíaco (S1) ocurre durante la sístole ventricular (contracción del músculo ventricular) y es causado por el cierre de las válvulas auriculoventriulares y la apertura de las válvulas semilunares. Este sonido es el "lub" del característico "lub-dub" que puede ser escuchado en cada latido cardíaco. El primer ruido dura alrededor de 0.15 s y tiene una frecuencia de 25 a 45 Hz; es suave cuando la frecuencia cardiaca es baja porque los ventrículos se llenan por completo con sangre y las valvas de las válvulas AV flotan al unísono antes de la sístole. Este ruido se ausculta mejor en el ápex y preferentemente en decúbito lateral izquierdo (posición de Pachón).

El segundo sonido cardíaco (S2) ocurre al inicio de la diástole ventricular (relajación del músculo ventricular) y es causado por el cierre de las válvulas semilunares y la apertura de las válvulas auriculoventriculares; este sonido es el "dub". El segundo ruido dura unos 0.12 seg., con una frecuencia de 50 Hz, es intenso y agudo cuando se eleva la presión diastólica de la aorta o de la arteria pulmonar, lo que hace que las valvas respectivas se cierren bruscamente al final de la sístole.

El segundo ruido se ausculta mejor en el foco pulmonar. Normalmente se auscultan los dos componentes del segundo ruido; el aórtico (A2), tiene mayor intensidad que el pulmonar (P2), debido a que las sigmoideas aórticas se cierran a una presión mucho mayor que con la que lo hace la válvula pulmonar.

El tercer sonido cardiaco (S3) es causado por la turbulencia asociada con el llenado rápido de los ventrículos al poco tiempo después de la apertura de las válvulas auriculoventriculares. El tercer tono cardíaco es un ruido de baja frecuencia producido en el ventrículo 0.14 a 92 0.16 segundos después de A2, cuando termina el llenado rápido, dura una décima de segundo. Este sonido se oye mejor con la campana del estetoscopio en la punta del ventrículo izquierdo, durante la espiración y con el paciente en decúbito lateral izquierdo. El S3 derecho se oye mejor en el borde esternal izquierdo o justo por debajo del apéndice xifoides, y habitualmente aumenta durante la inspiración.

El cuarto sonido cardiaco es un ruido de baja frecuencia (S4) ocurre al final de la diástole (presístole), es causado por la turbulencia asociada con el paso de la sangre desde la aurícula hacia los ventrículos durante la sístole auricular y puede oírse mejor con la campana del estetoscopio. Este sonido es escuchado inmediatamente antes que los ventrículos empiecen a contraerse y forzar la válvula auriculoventricular a cerrarse.

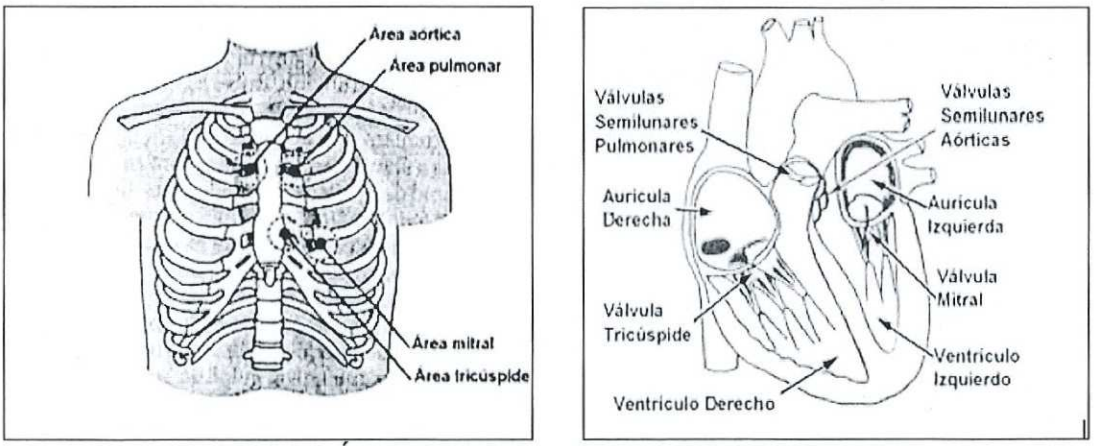


Figura 1. Áreas torácicas donde se escucha cada ruido valvular

La Figura 2 muestra la relación temporal entre los sonidos cardiacos y la señal eléctrica de un electrocardiograma. También incluye un gráfico de la presión arterial, ventricular y aórtica para el lado izquierdo del corazón. Las ondas de presión para el lado derecho (no mostradas) tienen una forma similar pero de menor amplitud.

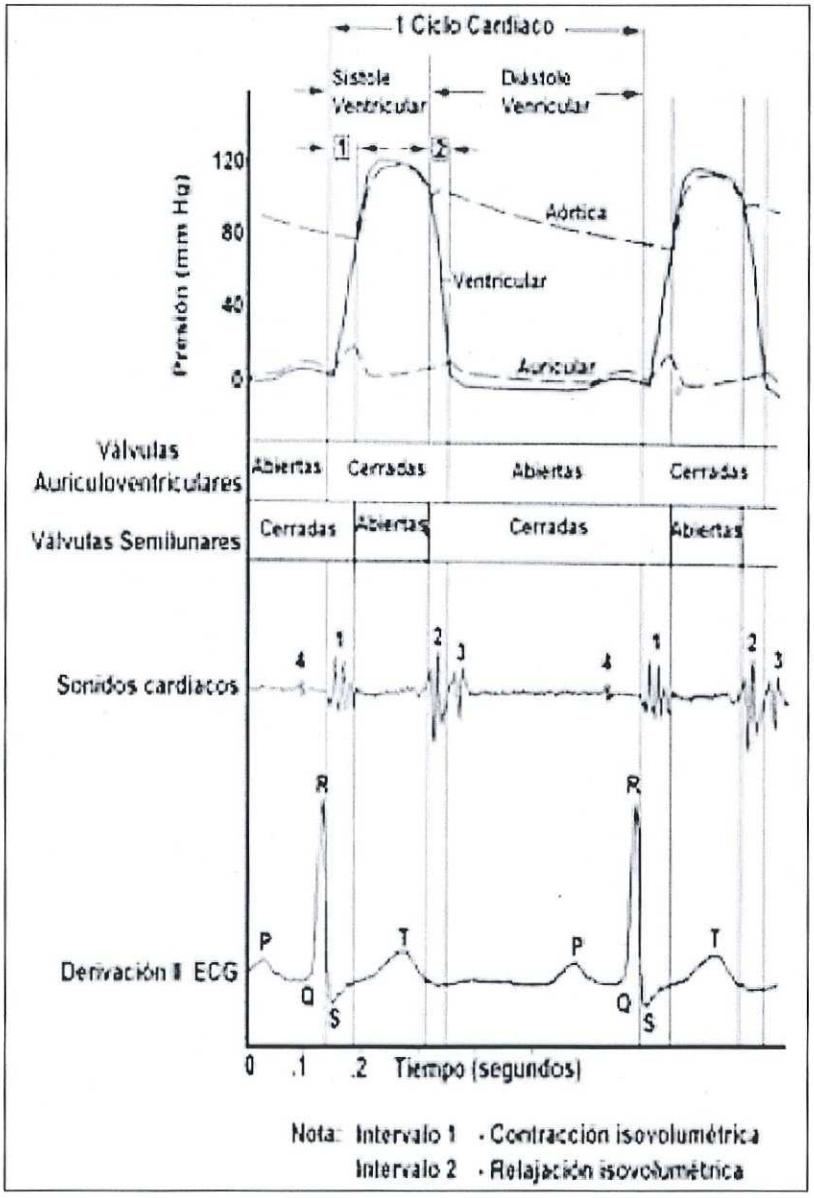


Figura 2. Eventos temporales del ciclo cardiaco.