

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN VIDEOCONFERENCIA
Y OTRAS APLICACIONES MÉDICAS A DISTANCIA SOBRE ENLACES SATELITALES**

TESIS

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

Presenta:

RUBÉN ANTONIO GARCÍA MENDOZA

Ensenada, Baja California, México, Julio del 2007.

Resumen de la tesis de Rubén Antonio García Mendoza, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja California. Julio del 2007.

ANÁLISIS DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE SERVICIO EN VIDEOCONFERENCIA Y OTRAS APLICACIONES MÉDICAS A DISTANCIA SOBRE ENLACES SATELITALES

Resumen aprobado por:

Dr. Roberto Conte Galván
Director de Tesis

Históricamente se ha identificado en México la necesidad de expandir los servicios de salud debido a que se carece de instalaciones y personal suficientes de la salud para abarcar a una población en crecimiento constante. Dicha expansión ha tomado la vertiente de los Sistemas de Telemedicina, que permiten llegar a lugares donde la geografía accidentada de nuestro país dificulta la entrega de servicios de salud.

Los servicios de salud a distancia se pueden englobar dentro del concepto de Telemedicina, donde se hace uso de la tecnología de telecomunicaciones para intercambiar información médica. Dichos servicios se pueden realizar entre médicos, o entre médicos y pacientes, ofreciendo Teleconsulta, Telediagnóstico, Teleasistencia, Telemonitoreo o segundas opiniones entre médicos en clínicas de primer, segundo y tercer nivel de atención, según clasifica la Secretaría de Salud. Los servicios de salud mencionados son realizados a través de videoconferencia, la cual puede ser transmitida a través de sistemas de comunicación satelital tipo VSAT. En este trabajo se efectúa la simulación de servicios de videoconferencia y otras aplicaciones médicas sobre los sistemas satelitales mencionados

Se encontró que es factible tener videoconferencia con *calidad Aceptable*, además, existe la posibilidad de combinar Teleconsultas y Telemonitoreo teniendo ciertas consideraciones; así mismo se puede Telemonitorear un paciente y transmitir su expediente médico simultáneamente; todo esto de acuerdo a los valores obtenidos de los parámetros de calidad de servicio que más afectan dichas aplicaciones y que se presentan en este trabajo de investigación.

Descriptores — Telemedicina, VSAT, Videoconferencia, Servicios de Salud, Calidad de Servicio, Parámetros de Calidad de Servicio.

Abstract of the thesis presented by Rubén Antonio García Mendoza, as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS. Ensenada, Baja California. July 2007.

ANALYSIS OF QUALITY OF SERVICE PARAMETERS IN VIDEOCONFERENCE AND OTHER DISTANCE APPLICATIONS WITHIN SATELLITE LINKS

Abstract approved by:

Dr. Roberto Conte Galván
Thesis Director

Historically in Mexico has been identifying the need to expand healthcare services because there are not enough medical equipment, hospitals and professionals to attend a constantly growing population. The expansion mentioned has taken the slope to Telemedicine Systems that allow reaching difficult places where the accidental geography of our Country can not make possible the delivering of healthcare services.

Long distance healthcare services can be considered within Telemedicine concept, where telecommunications technologies are used to interchange medical information. Those services can be between physicians or patients and physicians, offering Teleconsult, Telediagnostic, Teleassistance, Telemonitoring or seconds opinions between first, second and third level clinics, according to Mexican Health Secretary classification. The healthcare services mentioned can be done through videoconference, which can be transmitted by Satellite Communication System as VSAT. In this work the simulation of videoconference and other services over the communication system mentioned take place.

It was found the feasibility to have Videoconference with *Acceptable quality*; besides, there is a possibility to combine Teleconsult and Telemonitoring taking some important considerations; also we can do Telemonitoring of a patient and transmit its medical record simultaneously. Everything said before in agree with the values obtained of quality of service parameters that mostly affect the medical applications considered and all of them are presented within this investigation work.

Keywords — Telemedicine, VSAT, Videoconference, Healthcare Services, Quality of Service, Quality of Service Parameters.

Dedicatoria

A MIS PADRES

ELOISA MENDOZA OCARIZ
Y
JOSÉ ANTONIO GARCÍA LÓPEZ

A MI ESPOSA

ALEJANDRA MINA ROSALES

A MIS HERMANOS

ERIKA DEL ROCÍO GARCÍA MENDOZA
Y
HÉCTOR ANTONIO GARCÍA MENDOZA

A LAS FAMILIAS

MENDOZA LARA,
MINA ROSALES
Y
ZAMUDIO MINA

A LOS MIEMBROS DEL COMITÉ DE TESIS

DR. ROBERTO CONTE GALVÁN
DR. DAVID H. COVARRUBIAS ROSALES
M.C. RAÚL RIVERA RODRÍGUEZ
DRA. AMANDA O. GÓMEZ GONZÁLEZ
DRA. ANA I. MARTÍNEZ GARCÍA

Agradecimientos

A Dios por otorgarme el regalo de la vida, por haberme hecho nacer en un hogar lleno de amor, entendimiento, disciplina, apoyo incondicional y alguno que otro consentimiento.

A mis amados padres Eloisa y José Antonio, por llenarme con su amor, con el cual he aprendido a llenar de amor a los que me rodean, por ser mis guías, porque siempre tienen el consejo adecuado en el momento ideal. Por su apoyo incondicional durante esta travesía que hoy termina y durante toda mi vida. Sepan que sin ustedes este sueño de Alejandra y mío no hubiera sido posible.

A mi hermosa y amada esposa Alejandra, por los momentos buenos y malos que hemos vivido que nos han hecho la pareja que somos. Por hacerme parte de tus sueños, que tú eres una parte fundamental en los míos. Por dejarme amarte como lo hago en este momento. Por ser mí amiga y esposa, porque eres la estrella que ilumina mi camino noche tras noche y el sol que me da energía día con día. TE AMO CON TODO MI CORAZÓN, CUERPO Y ALMA.

A mis dos hermanos Erika y Héctor, ustedes forman parte muy importante en mi vida y espero que tengan siempre presente que los amo y que siempre que esté en mis manos saldré por ustedes incondicionalmente. Por sus palabras de aliento en los momentos que se necesitan y obviamente por aquellos momentos divertidos, tristes y de enojos que hemos pasado durante todos estos años.

A la Familia Mendoza Lara, mi tío Eduardo, mi tía Rosario y mis primos Edgar, Paola y Lalo[†]. Por ser mí segunda familia, porque siempre se han preocupado por mí y los que me rodean y me han dado el regalo de su amistad y cariño, es completamente recíproco. Edgar, por todo lo que hemos vivido juntos, sabes que siempre has sido como un hermano para mí y así seguirá hasta que la muerte nos separe. Los amo familia.

A mis abuelos, tíos y primos, por esos ratos de diversión y algunos otros de tristezas que hemos pasado a lo largo de nuestras vidas y ojalá sigamos en contacto durante muchos años más.

A la Familia Mina Rosales, por confiar siempre en mí, darme su apoyo, dejarme ser parte de su familia y obviamente otorgarme el placer de desposar a su hija Alejandra quien siempre lleva con orgullo los apellidos y educación que le han dado. Por el apoyo incondicional que nos han dado en todo momento mil gracias.

A mi amigo y hermano Raael Urbina García, por formar parte de mi vida, porque a través de tus ojos, mente y corazón he aprendido otras formas de ver la vida y que aunque hemos tenido nuestras diferencias y divorcios seguimos siempre al pie del cañón. Te queremos viejo.

A Leonardo Favio Yepes Arbeláez, por su incondicional amistad y por ofrecerme la oportunidad de compartir una difícil pero productiva estancia en CICESE, llena de buenos y regulares momentos pero que siempre supimos encontrar el punto medio para lograr los objetivos que se buscaban. Porque me enseñó que todo en esta vida tiene solución, porque es una persona que ante nada se deja caer.

A Berenice y Ernesto, quienes siempre han estado para extendernos su mano en situaciones difíciles y hemos compartido grandiosos momentos de alegría y diversión. Los quiero.

A Antonio Quillares, Gerardo Ocampo y Lourdes Colmenero, quienes me han brindado la oportunidad de ser su amigo. Que el tiempo no borre la línea que hemos compartido hasta el momento. Los quiero.

Al Dr. Roberto Conte Galván, por darme la oportunidad de aprender de su experiencia como investigador y compartir este proyecto que me ha ayudado a darle dirección a la continuación de mis estudios, pero sobre todo, gracias Roberto por otorgarme tu amistad, espero que no perdamos contacto con el paso de los años.

Al Dr. David H. Covarrubias Rosales, por siempre creer en mí, por su apoyo incondicional durante mi estancia en CICESE, por sus consejos en el momento exacto, por darme la guía adecuada y porque a través de usted he aprendido que la forma en como se inician las cosas, serán los resultados que se obtendrán. Pero indiscutiblemente, por su valiosa amistad y ojalá no sea pasajera.

Al Dr. Arturo Velázquez Ventura, porque desde un inicio de esta travesía tuvo palabras de aliento hacia mí y supo guiarme para conseguir lo que buscaba. Por su amistad, que va más allá del ambiente laboral y además es americanista, puntos extras.

Al M.C. Raúl Rivera Rodríguez, por su paciencia y ofrecerme además de su amistad, ayuda constante y desinteresada para el desarrollo de mi proyecto de tesis.

A la Dra. Amanda O. Gómez González, por sus consejos oportunos y guía, por mostrarme una forma diferente de ver las cosas y darle un giro a mi forma de ver la ingeniería. Por su amistad también le agradezco.

A la Dra. Ana I. Martínez García, por su oportuno involucramiento en este proyecto de tesis y proponer nuevas ideas para la obtención de mejores resultados.

A todos los miembros del comité de tesis por la ayuda, orientación y ánimos otorgados para la terminación exitosa de mi proyecto de tesis de maestría.

A todos mis amigos, viejos y nuevos, a todos ellos les ofrezco mi amistad incondicional. Espero que no se me olvide mencionar a nadie: Fidel, David y Noé Rincón, Donato Aguayo, Toño Arreguín, Chucho Cruz, Emmanuel Rangel, Mauricio Paredes, Charly Martínez, Lupita Janush, Ale Urbina, Diana Arroyo, Alex Aguilera, Aurora Martínez, los hermanos Vite Frías, Santiago Camacho y Familia, Hector Estrada, Ramón Maldonado, Jorge Acosta, Lis Tamayo, María Corona y familia, Joel Ruiz, Magali, Edgar, Fabián, Elyta pollita, Richard Torrealba, Jorge Sánchez, Edna Tamariz por su ayuda durante este proyecto, Lennin Amador, Iván Sandoval, Varun Katare, Dania Covarrubias, Mario Chávez, el autodenominado Kobe, Eleazar, Lupita, Alejandro Andalón, Javier Félix, los Lagunas Marco, Sergio y Daniel, Paul, Beto, Saraí, Andrés, Jonathan (tuzo); a todos ellos les doy infinitas gracias por su amistad y les deseo que todo lo que se propongan lo logren.

A todo el cuerpo administrativo y académico de este centro de investigación, CICESE, por darme la mano cuando lo necesité, en especial a Ivonne Best, Dolores, Laura, Rosy, Citlali, Olga, Rosario y Norma.

Al Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada, CICESE, particularmente a la División de Física Aplicada y a los proyectos: F0F005 "Antenas Inteligentes en Sistemas de Comunicaciones Móviles de Tercera Generación" a cargo del Dr. David H. Covarrubias Rosales y CONACyT SALUD "Desarrollo de herramientas para Diagnóstico, Consulta y Educación Médica Continua a distancia en los tres niveles de Atención", por las atenciones y el apoyo otorgado durante mi estancia en esta institución.

Por último, recuerden:

"LA FELICIDAD NO ESTÁ EN LA CIMA DE LA MONTAÑA, SINO EN LA FORMA DE SUBIR LA ESCARPADA"

Gabriel García Márquez

Índice

	Página
I. Introducción General	1
I.1 Marco de Referencia.....	1
I.2 Antecedentes.....	3
I.3 Planteamiento del Problema.....	4
I.4 Objetivo	6
I.6 Metodología de Investigación.....	7
I.7 Infraestructura empleada.....	7
I.8 Organización de la Tesis	8
II. Telemedicina	9
II.1 Introducción.....	9
II.2 Niveles de Atención Médica.....	11
II.2.1 Atención de Primer Nivel	12
II.2.2 Atención de Segundo Nivel.....	12
II.2.2 Atención de Tercer Nivel	13
II.3 Estado del Arte de la Telemedicina	15
II.3.1 General.....	15
II.3.2 Telemedicina y Comunicaciones Satelitales	16
II.4 Sistema de Comunicación y Adquisición de Imágenes	18
II.4.1 Adquisición de Imágenes Médicas	20
II.4.2.1 Imagen Digital.....	20
II.4.2.2 Digitalización y Captura Digital.....	21
II.4.2.3 Tamaño de Imagen.....	21
II.4.2.4 Velocidades de Transmisión y Ancho de Banda.....	22
II.5 Servicios y Alcances de la Telemedicina	23
II.5.1 Servicios Potenciales en Telemedicina	23
II.5.2 Alcances de la Telemedicina	25
III. Aplicaciones Médicas.....	28
III.1 Videoconferencia	28
III.1.1 Introducción	28
III.1.2 Componentes de un Sistema de Videoconferencia	30
III.1.3 Estándares existentes para Videoconferencia sobre IP	31
III.1.4 Comparación entre H.323 y SIP	31
III.1.5 Componentes de Línea para H.323.....	33

III.1.5.1 Terminal H.323	34
III.1.5.2 Puerta de Enlace H.323 (Gateway).....	34
III.1.5.3 Portero H.323 (Gatekeeper)	35
III.1.5.4 Unidad de Control Multipunto H.323 (MCU).....	35
III.1.6 Protocolos de H.323	35
III.1.6.1 Codificadores/Decodificadores de Audio.....	36
III.1.6.2 Codificadores/Decodificadores de Video.....	38
III.1.6.3 Protocolo para Transmisión de Datos	39
III.1.6.4 Protocolo de Tiempo Real.....	40
III.1.6.5 Protocolo de Control de Transferencia (TCP).....	41
III.1.6.6 Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP)	42
III.2 Expediente Médico.....	43
III.3 Señales Biomédicas.....	45
III.3.1 Clasificación	45
III.3.2 Proceso de Adquisición de Señales Biomédicas.....	48
III.3.2.1 Señales Bioacústicas	49
IV. Modelado Matemático	52
IV.1 Escenario.....	52
IV.2 Modelado de Aplicaciones Médicas.....	54
IV.2.1 Teleconsulta, Telediagnóstico, Teleasistencia y Telemonitoreo	54
IV.2.1.1 Voz.....	54
IV.2.1.2 Video	55
IV.2.1.3 Señal Biomédica.....	59
IV.2.2 Expediente Médico	61
IV.3 Modelado de Parámetros de QoS	62
IV.3.1 Latencia	63
IV.3.1.1 Retardo por Codificación/Decodificación.....	65
IV.3.1.2 Retardo por Transmisión/Recepción.....	65
IV.3.1.3 Retardo por Propagación	66
IV.3.1.4 Retardo por Acceso al Medio	68
IV.3.2 Jitter	68
IV.3.3 Tasa de Pérdida de Paquetes	69
IV.3.4 Tasa de Bit Erróneo.....	70
IV.3.5 Caudal Eficaz.....	70
IV.4 Validación de Resultados.....	71
V. Resultados y Análisis Numérico.....	73
V.1 Consideraciones de Simulación	73
V.1.1 Análisis Comparativo entre H.263 a 256 kbps y VBR.....	76
V.1.2 Análisis del Producto Retardo – Ancho de Banda.....	77
V.2 Resultados de Simulaciones.....	83
V.2.1 Resultados para Telediagnóstico, Teleasistencia y Teleconsulta.....	83

V.2.1.1 Latencia	84
V.2.1.2 Jitter	85
V.2.1.3 Tasa de Pérdida de Paquetes	87
V.2.1.4 Caudal Eficaz	88
V.2.2 Resultados para Telemonitoreo	89
V.2.3 Resultados para Expediente Médico	90
V.2.4 Resultados para Videoconferencia y Señal Biomédica	92
V.2.5 Resultados para Videoconferencia y Expediente Médico.....	96
V.2.6 Resultados para Señal Biomédica y Expediente Médico.....	98
V.2.7 Resultados para Videoconferencia, Señal Biomédica y Expediente Médico	100
VI. Conclusiones y Trabajo Futuro.....	103
VI.1 Conclusiones sobre Telemedicina.....	103
VI.1.1 Sobre los Sistemas de Telemedicina en General.....	103
VI.1.2 Sobre la Calidad de Servicio	104
VI.1.3 Sobre el Sistema de Comunicación	106
VI.1.4 Sobre las Aplicaciones Médicas.....	107
VI.2 Contribuciones	111
VI.3 Publicación Derivada de la Investigación	112
VI.4 Trabajo Futuro.....	113
Referencias	115
Anexo A.....	124
Anexo B.....	126
Anexo C.....	131
Anexo D.....	132

Índice de Figuras

	Página
Figura 1 Relación entre terminología asociada con E-Salud [Battrick, 2004].....	11
Figura 2 Transferencia de pacientes entre niveles de atención.....	14
Figura 3 Componentes de un PACS [Huang, 2004].....	19
Figura 4 Aplicaciones derivadas de la Telemedicina.....	25
Figura 5 Configuraciones de comunicación para videoconferencia: a) punto a punto, b) punto a multipunto.....	29
Figura 6 Componentes básicos de un sistema de videoconferencia.....	30
Figura 7 Conjunto de protocolos empleados: a) H.323 [ITU-T Rec. H.323, 2000], b) SIP [Rosenberg, 2002].....	32
Figura 8 Elementos de red de H.323 [ITU-T Rec. H.323, 2000].....	34
Figura 9 Diagrama a bloques de H.263, a) codificador de video, b) decodificador de video. [ITU-T Rec. H.263, 2005].....	38
Figura 10 Interoperabilidad entre terminales con T.120. [ITU-T Rec. T.120, 1996].....	39
Figura 11 Campos del encabezado de RTP [Schulzrinne, 1996].....	40
Figura 12 Diagrama a bloques del procesamiento analógico/digital que debe seguir una señal biomédica [Bronzino, 2000].....	48
Figura 13 Escenario de simulación para clínicas involucradas.....	53
Figura 14 Proceso Markoviano para tráfico de voz sobre IP.....	55
Figura 15 Distribución de paquetes de video codificado con H.263: a) 256 kbps, y b) VBR.....	57
Figura 16 PDF o Frecuencia relativa de paquetes para codificación H.263 con VBR.....	59
Figura 17 Retardos existentes para el escenario propuesto.....	64
Figura 18 Geometría utilizada para el cálculo del retardo por propagación [Cabanillas, 2004].....	66
Figura 19 Evolución del tamaño de buffer de los nodos involucrados con respecto al tamaño de paquete.....	79

Índice de Figuras (continuación)

		Página
Figura 20	Comparación evolutiva del jitter entre los enlaces Ensenada – México y Ensenada – Tijuana variando el tamaño de paquete.....	80
Figura 21	Comparación evolutiva de latencia entre los enlaces Ensenada – México y Ensenada – Tijuana con variación en el tamaño de paquete.....	81
Figura 22	Comparación evolutiva del PLR entre los enlaces Ensenada – México y Ensenada – Tijuana variando el tamaño de paquete.....	82
Figura 23	Formato de Paquetización considerada.....	83
Figura 24	Frecuencia relativa de paquetes en función de la latencia a) enlace Ensenada-México, b) enlace Ensenada-Tijuana.....	84
Figura 25	Frecuencia relativa de paquetes en función del jitter a) enlace Ensenada-México, b) enlace Ensenada-Tijuana.....	86
Figura 26	Comparación de resultados para la combinación de videoconferencia y señal biomédica a) jitter de videoconferencia, b) jitter de señal biomédica.....	93
Figura 27	Comparación de resultados para la combinación de videoconferencia y señal biomédica a) latencia de videoconferencia, b) latencia de señal biomédica.....	93
Figura 28	Resultados de la combinación videoconferencia y expediente médico a) jitter de videoconferencia, b) latencia de videoconferencia.....	97
Figura 29	Resultados de la combinación señal biomédica y expediente médico a) jitter de señal biomédica, b) latencia de señal biomédica.....	99
Figura 30	Resultado de la latencia para videoconferencia considerando la señal biomédica y el expediente médico como tráfico de fondo.....	101
Figura 31	Sensibilidad de las Aplicaciones Médicas con respecto a los Parámetros de Calidad de Servicio.....	125
Figura 32	Explicación gráfica de la tabla de relación entre aplicaciones médicas, parámetros de calidad de servicio e interfaces de digitalización.....	133

Índice de Tablas

		Página
Tabla I	Tamaño de algunas imágenes médicas comunes [Huang, 2004].....	22
Tabla II	Recomendaciones para codecs de audio [ITU-T Rec. Series G, 2000].....	37
Tabla III	Cantidad de bits empleados por cada campo del encabezado de RTP [Schulzrinne, 1996].....	41
Tabla IV	Imágenes que conforman el Expediente Médico.....	44
Tabla V	Clasificación de señales biomédicas por su origen [Bronzino, 2000].....	47
Tabla VI	Frecuencias para sonidos intestinales, respiratorios y cardíacos [Bronzino, 2000].....	50
Tabla VII	Retardo por codificación para ambas velocidades de codificación.....	65
Tabla VIII	Relación existente entre aplicaciones médicas y parámetros de calidad de servicio	72
Tabla IX	Latitud y longitud de estaciones terrenas involucradas.....	74
Tabla X	Consideraciones técnicas para el enlace satelital.....	75
Tabla XI	Comparación entre videoconferencia con velocidades de codificación de 256 kbps y VBR a diferentes tamaños de paquete.....	77
Tabla XII	Porcentaje de paquetes con respecto a la latencia en cada rango de calidad propuesto para ambos enlaces considerados.....	85
Tabla XIII	Porcentaje de paquetes con respecto al jitter en cada rango de calidad propuesto para ambos enlaces considerados.....	86
Tabla XIV	Porcentaje de pérdida de paquetes para ambos enlaces considerados.....	87
Tabla XV	Caudal eficaz en ambos enlaces considerados.....	88
Tabla XVI	Resultados numéricos obtenidos para jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para una señal biomédica.....	90

Índice de Tablas (continuación)

		Página
Tabla XVII	Valores resultantes de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para el Expediente Médico.....	91
Tabla XVIII	Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para videoconferencia considerando la señal biomédica como tráfico de fondo.....	94
Tabla XIX	Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para la señal biomédica considerando la videoconferencia como tráfico de fondo.....	95
Tabla XX	Resultados de jitter y latencia para videoconferencia considerando el expediente médico como tráfico de fondo.....	97
Tabla XXI	Resultados de PLR y caudal eficaz para videoconferencia considerando el expediente médico como tráfico de fondo.....	98
Tabla XXII	Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para señal biomédica considerando el expediente médico como tráfico de fondo.....	99
Tabla XXIII	Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz videoconferencia considerando la señal biomédica y el expediente médico como tráfico de fondo.....	101

Capítulo I

I. Introducción General

I.1 Marco de Referencia

Las instituciones encargadas de atender la salud pública en México enfrentan varios tipos de retos buscando atender adecuadamente a sus derechohabientes, como resultado del gran crecimiento demográfico en México, junto a su gran extensión territorial y accidentada topografía

En primer lugar, no se cuenta con el personal ni los recursos y equipo necesarios en todos los niveles de atención para proporcionar una evaluación médica adecuada de los pacientes. En segundo, la ubicación de muchas de las clínicas que prestan dichos servicios al público se encuentran ubicadas en sitios retirados de aquellas instituciones especializadas que pudieran tener la infraestructura adecuada para atenderlos [Gómez, 2007]. Debido a lo anterior se ha buscado desarrollar herramientas de trabajo capaces de enfrentar los problemas surgidos al intercomunicar las clínicas y hospitales de primer, segundo y

tercer nivel, los cuales toman esa clasificación de acuerdo a las especialidades médicas que se abarcan en cada nivel, según la Secretaría de Salud. Estas herramientas pueden ser desarrolladas por instituciones nacionales científicas y de educación superior, fomentando tanto el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, como la generación de recursos humanos altamente especializados en dichas áreas tecnológicas y de la salud en México.

Es así como se conjuntan los esfuerzos de tres instituciones nacionales: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (en adelante CICESE, FI-UNAM e ISSSTE, respectivamente) para crear una metodología e infraestructura de atención médica a distancia, buscando cubrir desde clínicas básicas (primer nivel) hasta Centros Médicos Nacionales (tercer nivel). Para lograr esta conectividad se busca utilizar de la manera más eficiente los recursos tecnológicos existentes y disponibles en el país, así como crear las herramientas necesarias que permitan ofrecer servicios de salud a distancia.

Como parte de este proyecto conjunto se plantea que las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs) puedan servir para la transmisión eficiente de información médica con suficiente Calidad de Servicio¹ en cualquiera de los tres

¹ La UIT define la Calidad de Servicio en su recomendación ITU-T Rec. E.800 como el efecto colectivo de garantía de servicio, que determina el grado de satisfacción del usuario de dicho servicio, y se caracteriza por la combinación de factores de rendimiento tales como operatividad, accesibilidad e integridad.

niveles de atención. Las TICs pueden incluir desde la tecnología básica de Internet e Internet 2, así como enlaces dedicados satelitales y terrestres.

I.2 Antecedentes

El empleo de sistemas de comunicaciones para la transmisión de información médica es reciente y surge de la necesidad de intercomunicar instituciones dedicadas a prestar servicios de salud. Dichos sistemas se identificaron como una herramienta que permitía aumentar la eficiencia en el servicio y reducir costos [Gómez, 2003].

Actualmente, el estado del arte de la Telemedicina ha tomado diferentes vertientes, desde la propuesta de una taxonomía hasta el estudio del desempeño en diferentes tecnologías de comunicación (redes Ad-Hoc, sistemas de comunicaciones móviles, etc.), como se publicó en la edición especial de IEEE Communications Magazine de Abril del 2006. En el caso de esta tesis se emplea un sistema de comunicación satelital tipo VSAT (very small aperture terminal), los cuales ofrecen ventajas al intercomunicar clínicas en zonas de difícil acceso.

Este trabajo de investigación se ubica en la vertiente de Telemedicina en Países en Vías de Desarrollo, y su originalidad está fundada en dos aspectos: i) el Sistema de Telemedicina propuesto y las aplicaciones médicas consideradas son para Salud Pública y ii) la inexistencia de valores de los parámetros de QoS intolerantes por las aplicaciones médicas que ofrezcan un nivel de calidad.

En la actualidad se buscan opciones sanitarias que se adecuen a las necesidades, peculiaridades e infraestructura de las diferentes zonas geográficas posibles. Sin duda, los sistemas de información cobran especial importancia como sistema de seguimiento y control, así como para la administración y operación de servicios descentralizados que involucran múltiples agentes.

I.3 Planteamiento del Problema

Hoy en día, los Gobiernos se preocupan por ofrecer servicios de salud a su población más eficientes, económicos y con un nivel de calidad de servicio tanto para el usuario como para el que otorga el servicio, y debido a lo anterior, surge la iniciativa del empleo de la Telemedicina.

El término Telemedicina nace de la fusión de las TICs y la medicina, el cual de acuerdo con [Battrick, 2004] puede ser definido como *“el uso de la tecnología avanzada de telecomunicaciones para intercambiar información médica y proporcionar servicios de salud a través de barreras geográficas, sociales, de tiempo y culturales”* y a través de este tipo de sistemas los profesionales dedicados a la salud pueden intercambiar diagnósticos, tratamiento y prevención de enfermedades o daños, investigación y evaluación, así como la posibilidad de ofrecer educación continua, todo ello en interés del desarrollo de la salud del individuo y su comunidad.

Una de las aplicaciones que se contempla de uso diverso e importante es la Videoconferencia, ya que permite proporcionar Telediagnóstico, Teleasistencia, Teleconsulta e inclusive Telemonitoreo médico. Por otro lado, la incorporación de las terminales VSAT como solución emergente en las Telecomunicaciones permite realizar tareas como transacciones bancarias, transmisiones telefónicas, etc., de manera más sencilla y eficiente. El empleo de dichas terminales se ha extendido a transmisión de datos, video y voz. Así mismo han tomado relevancia en aplicaciones médicas gracias a que presentan ventajas tales como la amplia cobertura territorial, además que con los avances tecnológicos se puede disponer de mejores prestaciones con este tipo de sistemas.

De esta manera, *se identifica el análisis de los parámetros de calidad de servicio que más afecten a la Videoconferencia como aplicación médica, utilizando VSATs, como el problema a resolver.* Lo anterior se basa en tres hechos: primero, el estudio de dicha aplicación sobre enlaces satelitales de banda ancha no ha sido abarcado ampliamente. Segundo, la aplicación en cuestión, para información médica requiere de una medida de calidad que solamente el usuario, en este caso médicos y enfermeras, pueden definir como aceptable o no; y tercero, las estandarizaciones acerca de las especificaciones de los parámetros de calidad de servicio que deben cumplir los sistemas de comunicaciones para Telemedicina no se han definido por completo, por lo tanto es un problema abierto a la investigación.

En este trabajo de investigación se plantea el uso de VSATs para la transmisión de datos e información médica en tiempo real, empleando protocolos de comunicación vigentes, buscando con ello el mejor desempeño posible del sistema de comunicación propuesto de acuerdo a los parámetros de QoS intolerantes por las aplicaciones en tiempo real. Por otro lado, se aportarán valores de los parámetros de calidad de servicio que proporcionen las bases para generar un Sistema de Telemedicina para Salud Pública reproducible y adaptable a diferentes geografías.

I.4 Objetivo

Modelado, simulación y análisis de los Parámetros de Calidad de Servicio identificados como intolerantes para la transmisión de información médica en tiempo real a través de Videoconferencia mediante el uso de tecnología digital satelital VSAT.

Así mismo, se analizará las características técnicas, el nivel de desempeño y su impacto en dichos parámetros de QoS, considerando el acceso al satélite, el tipo de aplicación médica y las características de los diferentes protocolos que se emplean para la transmisión extremo a extremo entre Instituciones Médicas de diferente nivel de atención ubicadas en Ensenada y Tijuana, B.C., así como la Cd. de México.

I.6 Metodología de Investigación

La metodología para obtener los resultados esperados se presenta a continuación:

- Investigación del estado del arte de Sistemas de Telemedicina en general y particularizar en los que usan enlaces satelitales, buscando valores de parámetros de QoS de aplicaciones médicas en tiempo real.
- Estudio de las Aplicaciones médicas en tiempo real que se consideran en este trabajo de investigación con la finalidad de proporcionar un modelo de las mismas.
- Definir el escenario para las simulaciones incluyendo protocolos, acceso al medio y fuentes de tráfico, buscando con ello los modelos respectivos.
- Modelado de los parámetros de calidad de servicio identificados como intolerantes por las aplicaciones médicas en tiempo real.
- Integrar cada uno de los modelos realizados en el software de simulación.
- Realizar las simulaciones pertinentes y capturar los resultados para su análisis.
- Análisis y validación de resultados.

I.7 Infraestructura empleada

- Computadora Personal con Network Simulator, Matlab y Microsoft Office.

- Artículos, libros y revistas del área.
- Bibliotecas CICESE, UNAM, UCSD y otras.

I.8 Organización de la Tesis

Este documento está organizado de la siguiente manera: El capítulo I introduce al problema que se desea resolver, los objetivos, metas y expectativas a alcanzar, así como la metodología de investigación seguida para concretar el proyecto. Los demás capítulos presentan los conceptos necesarios para el entendimiento de las tecnologías, aplicaciones y parámetros de calidad que se abordan en esta tesis. En el capítulo II se estudiará el área de los Sistemas de Telemedicina: sus conceptos, tipos y características de imágenes médicas, niveles de atención, etc., mientras que en el capítulo III se definirán las aplicaciones médicas involucradas en este trabajo. El capítulo IV abarca lo relacionado a la Calidad de Servicio: su definición y parámetros de interés, por otro lado, el capítulo V se enfoca en la plataforma de comunicación empleada. En el capítulo VI se conocerá la metodología seguida: escenario, paquetización, modelado de fuentes de tráfico y parámetros de calidad, así como la lógica de simulación. El capítulo VII contiene los resultados obtenidos y el análisis de los mismos. Por último, en los capítulos VIII y IX se ofrecen las conclusiones y referencias de este trabajo de tesis, respectivamente.

Capítulo II

II. Telemedicina

En este capítulo se presentan los conceptos relacionados con la Telemedicina, donde se aplica, que medios de transmisión emplear, etc. El motivo de este capítulo es presentar desde las generalidades hasta conceptos técnicos importantes como la digitalización de imágenes médicas, entre otros; de la Telemedicina.

II.1 Introducción

Dar servicio a la población de alguna región en específico (municipio, estado o inclusive países), ha sido y seguirá siendo una necesidad primordial para los distintos niveles de gobierno. La conversión de estrategias tradicionales de salud hacia e-Salud y Telemedicina es requerida debido al crecimiento de las poblaciones y la cobertura tan limitada que tiene un centro normal de servicio médico. Lo anterior forma parte de los fundamentos de este trabajo de tesis, buscando

entonces nuevas alternativas tecnológicas para reducir las carencias presentadas por los diferentes niveles médicos hospitalarios.

México, como otros muchos países desde hace tiempo, han dedicado recursos humanos y económicos para el desarrollo de tecnologías que permitan dar este gran paso, buscando ofrecer un servicio más eficiente en sus respectivos territorios. Para ello participan incluso organizaciones internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud, la Agencia Espacial Europea o la Unión Internacional de Telecomunicaciones (OMS, ESA e ITU en adelante, respectivamente).

Generalmente los términos e-Salud y Telemedicina son confundidos o empleados como sinónimos, sin embargo, no lo son. Telemedicina normalmente se refiere a la práctica de la medicina, u ofrecimiento de servicios médicos a distancia, mientras que e-Salud, hablando a grandes rasgos, se refiere a la administración de información médica de manera electrónica. En la Figura 1 se muestra la relación entre varias terminologías empleadas dentro de la e-salud. Como se observa, encontramos dos grandes conjuntos que son la Telesalud y la Informática de la Salud, además, la Telemedicina, que es nuestra área de interés, está implícita en Telesalud y todas ellas comparten la Telemática de la Salud [Battrick, 2004]. Es importante destacar que la Informática define el tratamiento de la información con equipo electrónico y computacional, y Telemática surge de la fusión de las

Telecomunicaciones y la Informática resolviendo problemas de diseño, gestión de redes y servicios de comunicación de datos.

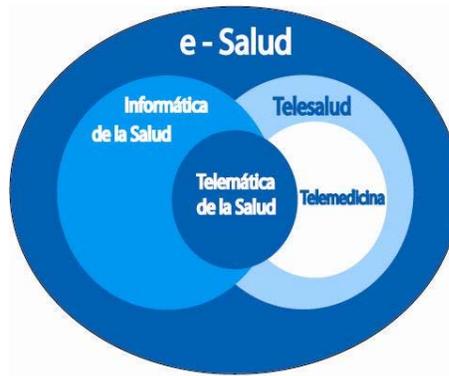


Figura 1. Relación entre terminología asociada con e-Salud [Battrick, 2004].

Aunque las investigaciones han ido avanzando, de varios años atrás al presente, no se ha logrado aún definir los requerimientos de los usuarios completamente. Por lo mismo, cumplen con una inercia de cambio continuo conforme se adquiere mayor experiencia en el área, hasta llegar al punto de que, hoy en día, la Telemedicina en algunos escenarios apenas se empieza a contemplar como una posibilidad real de implementación.

II.2 Niveles de Atención Médica

Es importante hacer un paréntesis para definir los diferentes niveles de atención médica con los que se cuenta en México según el ISSSTE y la Secretaría

de Salud, ya que es necesario conocer las diferencias para una mejor comprensión del trabajo de tesis.

II.2.1 Atención de Primer Nivel

Son las entidades pertenecientes a la institución de salud que otorga servicios integrales y continuos al individuo y la familia, mediante el estudio y atención de la historia natural del proceso salud-enfermedad [Gómez, 2004]. En caso de no contar con la capacidad necesaria de atención se encarga de referir a instancias de segundo y tercer nivel a los pacientes que así lo necesiten. Un ejemplo pueden ser las clínicas ubicadas en zonas rurales y semi-rurales.

II.2.2 Atención de Segundo Nivel

Corresponde a los Hospitales Regionales, éstos son requeridos en una proporción menor, ofrecen hospitalización para la observación continua o manejo de un paciente, áreas para atención de partos, práctica de cirugías o procedimientos especializados, urgencias reales, laboratorios para estudios específicos, gabinetes de imagenología, unidades de cuidados intensivos y los recursos necesarios para atender patologías que no pueden ser manejadas en forma ambulatoria [Gómez, 2004]. La Clínica ISSSTE de Ensenada puede ser un ejemplo de este tipo de nivel.

II.2.2 Atención de Tercer Nivel

A este nivel pertenecen los hospitales de alta tecnología y especialidad facultados para una máxima resolución diagnóstico-terapéutica [Gómez, 2004]. Estos hospitales atienden las demandas de pacientes con padecimientos poco comunes o que tienen una patología compleja. Además cuentan con instalaciones para el desarrollo de investigación en materia de salud debido a las características propias de las enfermedades enfrentadas en estos centros. La clínica ISSSTE de Tijuana es parte de este nivel de atención médica.

Existen otros centros médicos conocidos como Centros Médicos Nacionales (CMN), hacia los cuales solo se permea un bajo porcentaje de los pacientes y están dedicados a atender padecimientos muy específicos. El Centro Médico Nacional 20 de Noviembre perteneciente al ISSSTE y ubicado en la ciudad de México está dentro de este conjunto de clínicas.

La forma en como se maneja la transferencia de pacientes a través de los diferentes niveles de atención es de la siguiente manera: normalmente en el primer nivel, que regularmente son atendidos por médicos generales, se pueden quedar el 80-85% de los casos de consulta, siempre y cuando tengan el apoyo diagnóstico del segundo nivel. El 15-20% restante de pacientes que arriban a clínicas de segundo nivel, donde se atienden 4 especialidades troncales que son: Ginecología, Pediatría, Cirugía General y Medicina Interna, pueden ser atendidos en éstas, representando aproximadamente el 12-18%, el resto (2-8%) son

canalizados a Instituciones de tercer nivel que cuentan con sub-especialidades como Oncología, Dermatología, Neurología, etc. Sin embargo, existe un 0.3% del total de consultas que no pueden ser atendidos en ninguno de los niveles de atención mencionados, por lo que, estos casos pasan a los Centros Médicos Nacionales. La Figura 2 muestra de manera gráfica lo anterior.



Figura 2. Transferencia de pacientes entre niveles de atención.

Lo presentado en esta sección junto con las investigaciones realizadas con anterioridad a este trabajo, constituyen las bases acerca del tema, por lo tanto es importante dar a conocer el estado del arte al presente, como se expone en la siguiente sección.

II.3 Estado del Arte de la Telemedicina

II.3.1 General

Desde la década de los 1970s, con la transmisión de información médica desde un transbordador espacial hacia la central de control de la NASA, se sentó precedente para la Telemedicina [Brown, 1995]. De este acontecimiento en adelante, alrededor del Mundo se empezaron a desarrollar proyectos donde se involucraría, no solo la transmisión de información médica, sino también el desarrollo de software y hardware para la adquisición de imágenes de calidad de donde se pudiera extraer información importante para realizar diagnósticos. Es así como surgen empresas interesadas en esta área técnico – médica, que proponen iniciativas de estandarizaciones como es el caso de DICOM [National Electrical Manufacturers Association, 2006], entre otras.

Por otro lado, la ITU, OMS, Organización Panamericana de la Salud, entre otras; también han realizado aportaciones importantes en materia de Telemedicina, consiguiendo iniciar metodologías y estandarizaciones. Sin embargo, hasta el momento no existe una estandarización consistente, aunque han sido publicados trabajos con propuestas que fundamentan cómo podría realizarse esto, como los casos de [Komiya, 2005] y [Tulu, 2005]. El presente trabajo pretende aportar valores de parámetros de QoS de acuerdo a las necesidades médicas que puedan validar y complementar dichos trabajos.

Además de lo anterior, se ha presentado en los últimos años una tendencia importante de mencionar en las investigaciones e implementaciones, particularmente la aplicación de Sistemas de Adquisición de Imágenes y Comunicaciones (PACS en adelante). A esto se le pueden sumar los esfuerzos de otros investigadores y técnicos, buscando transmitir información médica a través de redes Ad-Hoc como se puede ver en [Forde, 2006], en redes WDM, abordado en [Taesombut, 2006] y sobre sistemas de comunicaciones móviles (UMTS) como presenta [Yao, 2004]. Lo anterior sólo refleja la importancia del estudio de los diferentes sistemas de comunicación para ser aplicados a la Telemedicina, y ha sido tanto el auge que en Abril del 2006 hubo una publicación especial de la revista IEEE Communications Magazine, donde los diversos artículos presentados convergen en la necesidad de una estandarización eficiente como es mencionado en [Young, 2006]. Es importante mencionar que las investigaciones realizadas y presentadas en dicha revista son, en general, para ambientes hospitalarios privados, mientras que este trabajo de tesis propone soluciones para Salud Pública.

II.3.2 Telemedicina y Comunicaciones Satelitales

Como se mencionó en la sección anterior, una de las primeras transferencias de información médica se hizo en el ambiente espacial, pero con tecnologías que actualmente son obsoletas. Entre las investigaciones recientes que

más han ayudado para esta investigación en proceso se pueden destacar la aportación de algunos requerimientos para aplicaciones como Teleeducación y Telemedicina hechos por [Pierucci, 2000], además de los resultados arrojados por implementaciones hechas en La India, China, Ecuador y Kazakstán publicados por [Pal, 2005], [Xue, 2006], [Mijares, 2004] y [Sharman, 2004], respectivamente. En ellos se proporcionan algunas evaluaciones superficiales acerca de parámetros de calidad, e inclusive existen documentos que aportan interés en el área económica, como el realizado por [Martínez, 2004]. Por otro lado, existen dos publicaciones hechas por [Clarke, 2001] y [Cone, 2004], donde el primero proporciona valores sustanciales de calidad, pero son en enlaces de ancho de banda angosto y sobre el protocolo TCP, mientras que el segundo es un caso médico en el cual se realiza un telemonitoreo de signos vitales de manera exitosa, según los autores, pero no ofrecen valores.

Como se puede observar, el estado del arte de la Telemedicina sobre enlaces satelitales no es un área donde las aportaciones han sido contundentes, de ahí el interés de estudiarla en este trabajo de investigación. Cabe mencionar que existen trabajos realizados en México y Latinoamérica, sin embargo, no se encuentran reportados.

Una parte medular de este trabajo es entender conceptos relacionados con la adquisición de imágenes médicas, por lo tanto, a continuación se comentan las

virtudes que ofrece la implementación de sistemas de adquisición de imágenes y comunicaciones.

II.4 Sistema de Comunicación y Adquisición de Imágenes

Los PACS comenzaron a utilizarse alrededor de 1980 en algunos hospitales de Estados Unidos y de ahí en adelante no han dejado de desarrollarse con la finalidad de ofrecer mejores servicios a los usuarios. Principalmente su diseño se basa en los siguientes puntos que se pueden encontrar a detalle en [Huang, 2004]:

- Estar basados en estándares existentes.
- Contar con sistemas que garanticen la seguridad de la información que se maneja.
- Debe ser un sistema tolerante a fallas.
- Permitir gestión remota.
- Tener una red alterna (backup) en caso que la red principal deje de funcionar correctamente por fallos en la misma.
- Ser diseñada con escalabilidad para interoperar con redes futuras y actuales.
- Permitir acceso a datos multimedia.
- Contar con inteligencia suficiente para poder evadir problemas de congestión o cuellos de botella dentro del sistema.

Los PACS cuentan con una gran variedad de dispositivos interconectados para obtener información médica digitalizada, pero en general se pueden caracterizar por los componentes que se ilustran en la Figura 3 y se enumeran a continuación [Huang, 2004]:

1. Sistema de Comunicaciones.
2. Sistema de Visualización.
3. Sistemas de Adquisición de las diferentes modalidades de imágenes médicas.
4. Sistema de almacenamiento de imágenes y bases de datos.
5. Sistema de impresión.
6. Integración con el Sistema de Información Hospitalaria (HIS) y el Sistema de Información Radiológica (RIS).



Figura 3. Componentes de un PACS [Huang, 2004].

La importancia de la mención de estos sistemas radica en que, a partir de ellos se obtienen los formatos de imágenes, video y sonidos que se manejan dentro de la Telemedicina, además de ofrecer información acerca de la adquisición de imágenes como el proceso de digitalización y captura digital o el tamaño de las imágenes obtenidas. Una vez identificado el propósito, pasaremos a la descripción de algunos puntos de interés en las siguientes sub-secciones.

II.4.1 Adquisición de Imágenes Médicas

El concepto de imágenes médicas se refiere a imágenes de Radiología, Resonancia Magnética, Tomografía, Gamagrama, Medicina Nuclear, Ultrasonido, fotografías, etc., usados para propósitos de diagnóstico. Existen tres puntos sustanciales acerca de imágenes de nuestro interés: conocer cómo se forman digitalmente, el proceso de digitalización que siguen y el tamaño que ocupan en almacenamiento.

II.4.2.1 Imagen Digital

La imagen digital es un agrupamiento bidimensional de enteros no negativos $f(x, y)$, donde $1 \leq x \leq M$ y $1 \leq y \leq N$, en los cuales M y N son números enteros positivos representando el número de columnas y filas, respectivamente. Cuando $M = N$, f se convierte en una imagen cuadrada; la mayoría de las imágenes empleadas en medicina son cuadradas [Huang, 2004].

II.4.2.2 Digitalización y Captura Digital

Digitalizar una imagen significa convertir los tonos continuos de grises de dicha imagen en otra digital. Cerca del 70% de los exámenes radiológicos, incluyendo imágenes craneales, de pecho, senos, abdomen, huesos y mamografía son capturados en películas de rayos X o computados por un proceso de radiografía. Otra forma de convertir imágenes a formatos digitalizados es por medio del escaneo láser, el cual permite preservar la mejor resolución de la imagen analógica original.

El otro 30% de los exámenes radiológicos, los cuales incluyen tomografías computadas (CT o XCT), medicina nuclear (NM), tomografía por emisión de positrones (PET), Tomografía computada por emisión de fotón simple (SPECT), ultrasonido (US), imagen de resonancia magnética (MRI), fluorografía digital (DF), y angiografía digital (DSA), ya se encuentran en formato digital cuando son generados [Huang, 2004].

II.4.2.3 Tamaño de Imagen

Las dimensiones de una imagen son el par ordenado (M, N) , y el tamaño de la imagen es el producto de $M \times N \times k$ bits, donde 2^k es igual al intervalo de niveles de grises. En imágenes seccionales, la mayoría de las veces $M = N$. En la Tabla I se enlistan los tamaños de imágenes médicas convencionales [Huang, 2004].

Tabla I. Tamaño de algunas imágenes médicas comunes [Huang, 2004].

	Una Imagen (bits)	# de Imágenes por Examen	Una muestra de examen (MB)
Medicina Nuclear (NM)	128 x 128 x 12	30 – 60	1 – 2
Imagen de Resonancia Magnética (MRI)	256 x 256 x 12	60 – 3000	8 o más
Ultrasonido (US)	512 x 512 x 8 (24)	20 – 240	5 – 60
Angiografía Digital (DS)	512 x 512 x 8	15 – 40	4 – 10
Microscopía Digital	512 x 512 x 8	1	0.25
Microscopía Digital a Color	512 x 512 x 24	1	0.75
Imágenes Suaves a Color	512 x 512 x 24	4 – 20	3 – 15
Tomografía Computada (CT)	512 x 512 x 12	40 – 3000	20
Radiografía Digital /Comp. (CR/DR)	2048 x 2048 x 12	2	16
Rayos X Digitalizados	2048 x 2048 x 12	2	16
Mamografía Digital	4000 x 5000 x 12	4	160

II.4.2.4 Velocidades de Transmisión y Ancho de Banda

La selección de un sistema de comunicaciones para la transmisión de imágenes médicas con las características presentadas anteriormente debe buscar la flexibilidad y capacidad del mismo, y considerar dos aspectos importantes:

- a) Velocidad de Transmisión.
- b) Ancho de Banda.

La relación existente entre ambos es directamente proporcional: si se tiene un gran ancho de banda, la velocidad de transmisión también puede ser elevada.

Por otro lado, la velocidad de transmisión puede ser afectada por factores externos (ruido) que provoca un desempeño deficiente y el ancho de banda a pesar de ser fijo está limitado por la infraestructura física y el flujo de varios tráficos, ya que comparten los componentes comunes de la trayectoria extremo a extremo del tráfico. Asimismo existen otras consideraciones importantes al diseñar el sistema de comunicación, tales como el tipo de modulación, acceso al medio, corrección de errores, etc.

II.5 Servicios y Alcances de la Telemedicina

En México, recientemente, se empezaron a realizar esfuerzos conjuntos entre Instituciones de Salud (ISSSTE), Gobierno Federal (a través de CONACyT) y Centros de Investigación (CICESE, UNAM) para alcanzar Sistemas de Telemedicina eficientes y que puedan dar a la población servicios de calidad. Actualmente ya existen tecnologías de la información implementadas y dedicadas a los servicios de salud [Gómez, 2007], pero aún queda mucho por aportar en este campo.

II.5.1 Servicios Potenciales en Telemedicina

Existen servicios médicos que han adquirido cierta importancia debido a que su implementación puede ofrecer grandes beneficios a la población y a las Instituciones que prestan los servicios de salud, entre ellos encontramos:

- Teleconsulta: Se refiere a la realización de consultas a distancia en tiempo real entre Centros Médicos [Facultad de Ingeniería – UNAM, 2005]. Este servicio quizás sea el más empleado en la actualidad.
- Teleasistencia: Definida como la colaboración en tiempo real, en todos los sentidos, de un profesional de la salud experto con otro similar [Facultad de Ingeniería – UNAM, 2004]. Se pretende que lo que observa el individuo que ofrece la asistencia sean las mismas que la persona ubicada en el otro extremo.
- Teleeducación: Implica la participación a distancia de profesionales de la salud para la capacitación de los mismos, puede ser a través de programas televisivos o videoconferencia [Facultad de Ingeniería – UNAM, 2004].
- Telediagnóstico: Se refiere a la realización de un diagnóstico a distancia entre personal médico acerca del caso médico en cuestión. Permite además, ofrecer segundas opiniones en caso de ser solicitadas.
- Teleconferencia: Es la realización de una conferencia en vivo, en la cual el expositor permanece en su lugar de trabajo sin tener la necesidad de viajar hasta el sitio donde se encuentran los participantes [Facultad de Ingeniería – UNAM, 2004]. Éstos a su vez, tienen la posibilidad de interactuar con el expositor, realizando preguntas y discutiendo los casos que en ella se presentan.

- Telemonitoreo: Se refiere a la transmisión en tiempo real de los signos vitales e información proveniente de sistemas biológicos de una entidad sanitaria a otra, o del hogar a la clínica. Su funcionalidad va en dirección al monitoreo constante de pacientes desde su hogar.

La Figura 4, presenta de manera gráfica los diferentes servicios que pueden ser ofrecidos a través de los Sistemas de Telemedicina.

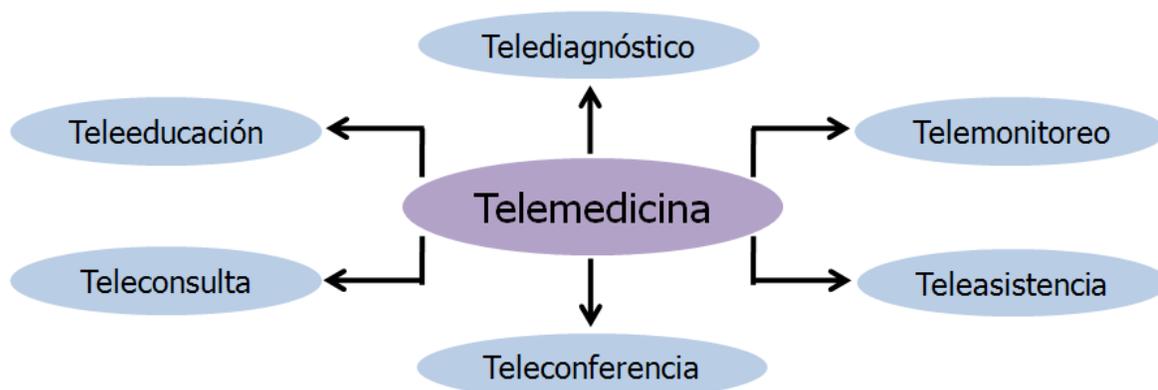


Figura 4. Aplicaciones derivadas de la Telemedicina.

II.5.2 Alcances de la Telemedicina

El empleo de la Telemedicina en la vida diaria ha tenido, como se muestra en el reporte de [Gómez, 2003], un impacto importante dentro de las Instituciones Sanitarias. Se habla de la realización de más de 25,000 Teleconsultas en México y actualmente la cifra ha ido en aumento exponencial. Los alcances que puede tener la Telemedicina, serían, entre otros:

- Potencializar el cuidado de los pacientes ofreciéndoles profesionales capacitados y permitiéndoles la participación en el proceso de toma de decisiones gracias a la interactividad existente.
- Lograr un acceso equitativo a los servicios sanitarios, ya que áreas remotas pueden quedar conectadas a un sistema capaz de asistir y resolver problemas de salud, sean consultas entre un paramédico y un centro de atención, o entre médicos generales y especialistas.
- Mejorar la calidad de atención. La incorporación de tecnología irá en beneficio de pacientes con un mejor acceso a la salud, del médico con una información confiable, segura y oportuna, así como de la institución prestadora del servicio.
- Capacitación de los profesionales de la salud por medio de educación y capacitación a distancia.
- Reducción en el traslado de pacientes, ya que se puede contar con monitoreo remoto y además se tiene oportunidad de obtener segundas opiniones.
- Toma de decisiones instantáneas, debido a que se puede tener acceso inmediato a sistemas que contienen información crítica de los derechohabientes (e.g. expedientes clínicos).
- Interacción con otras Instituciones que cuenten con servicios de Telemedicina, ya sea con finalidad médica o simplemente para

retroalimentación acerca de problemas enfrentados durante el uso de los sistemas implementados.

- Sobreponerse a las barreras políticas, sociales, profesionales y económicas que impiden ofrecer servicios sanitarios en todas las entidades existentes.
- Promover la estandarización e interoperabilidad de los sistemas y sus aplicaciones.

Se observa que la Telemedicina puede ser una herramienta de auxilio en muchas circunstancias o formar parte sustancial de un sistema de salud, ya sea privado o público, donde éste último es de nuestro interés.

Capítulo III

III. Aplicaciones Médicas

Este capítulo presenta las aplicaciones médicas involucradas en esta investigación. Específicamente estaremos tratando con la Videoconferencia, la cual incluye Teleconsulta, Telediagnóstico, Teleasistencia, Teleconferencia y Teleeducación. Por otro lado, tenemos el Expediente Médico, el cual contiene imágenes médicas, y finalmente el Telemonitoreo de signos vitales, el cual implica transmisión de pulsos cardiacos, sonidos respiratorios, etc.

III.1 Videoconferencia

III.1.1 Introducción

La Videoconferencia ha ido evolucionando de manera gradual y no tan exponencial como otro tipo de aplicaciones y tecnologías. Se define como el intercambio de imágenes y voz principalmente, pero también apoya la transmisión de datos, entre dos a más entidades transmisoras y receptoras de forma

bidireccional o unidireccional. Es una aplicación catalogada como parte de los sistemas en tiempo real por diferentes organizaciones encargadas de estandarizaciones, los cuales definen dichos sistemas como aquellos que mantienen transmisiones de información síncrona (audio y video) y/o asíncrona (datos, streaming audio y video) [ISO/IEC. 2002].

La aplicación tratada en este apartado puede ser punto a punto o punto a multipunto (Figura 5), donde la primera se refiere a la comunicación entre dos entidades y la segunda permite enlazar 3 o más. Es importante hacer la referencia debido a que la configuración de los diferentes estándares existentes para videoconferencia puede cambiar.

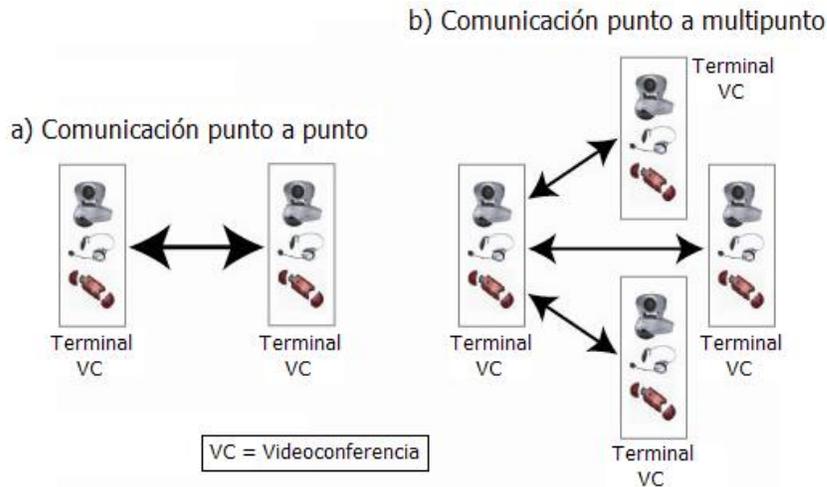


Figura 5. Configuraciones de comunicación para videoconferencia: a) punto a punto, b) punto a multipunto.

La inclusión de la Videoconferencia en Telemedicina se debe a la necesidad de compartir información en tiempo real entre las Instituciones encargadas de cuidar la salud. Actualmente, se emplean los estándares vigentes para Videoconferencia y es objetivo de este trabajo demostrar si las características técnicas y operativas que nos ofrecen son suficientes para realizar Telemedicina con calidad de servicio.

III.1.2 Componentes de un Sistema de Videoconferencia

Los elementos básicos que componen un sistema de videoconferencia, en ambos extremos, transmisor y receptor, se enlistan a continuación:

- Cámara de Videoconferencia o Webcam y pantallas.
- Micrófono y bocinas.
- Codecs de audio y video.

La Figura 6 presenta un diagrama a flujo de los componentes de un sistema de Videoconferencia con la finalidad de apoyar los apartados anteriores.



Figura 6. Componentes básicos de un sistema de Videoconferencia.

III.1.3 Estándares existentes para Videoconferencia sobre IP

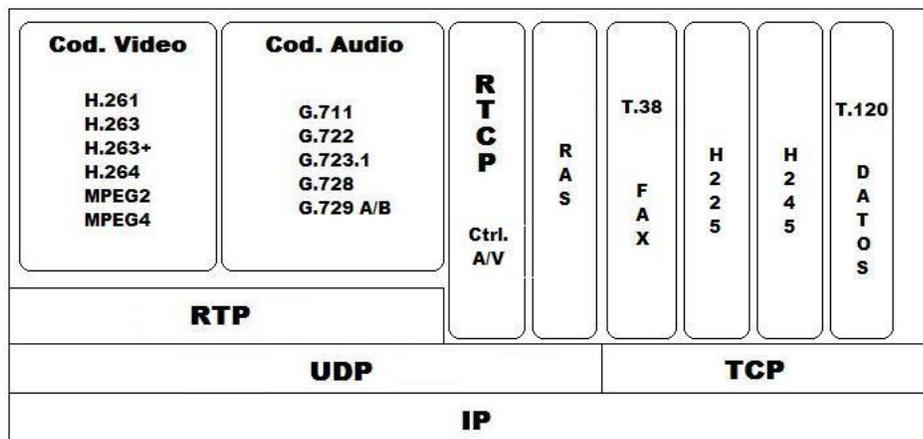
A través del tiempo han existido en la ITU una serie de recomendaciones como H.310, H.320, H.321, H.322, H.323 y H.324, donde se definen requerimientos técnicos para los sistemas multimedia y audiovisuales dentro de diferentes redes como las Redes Digitales de Servicios Integrados (RDSI), la Red Telefónica de Servicios Generales (GSTN), las Redes de Área Local (LAN), las Redes de Cobertura Amplia (WAN), etc.

A pesar de la existencia de esta variedad de recomendaciones, en la actualidad H.323 es la más ampliamente usada para voz sobre IP (VoIP), Videoconferencia o cualquier aplicación en tiempo real, sin embargo, ha empezado a surgir el empleo de otro protocolo, desarrollado por la IETF, conocido como Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) y el cual puede ser revisado en [Rosenberg, 2002].

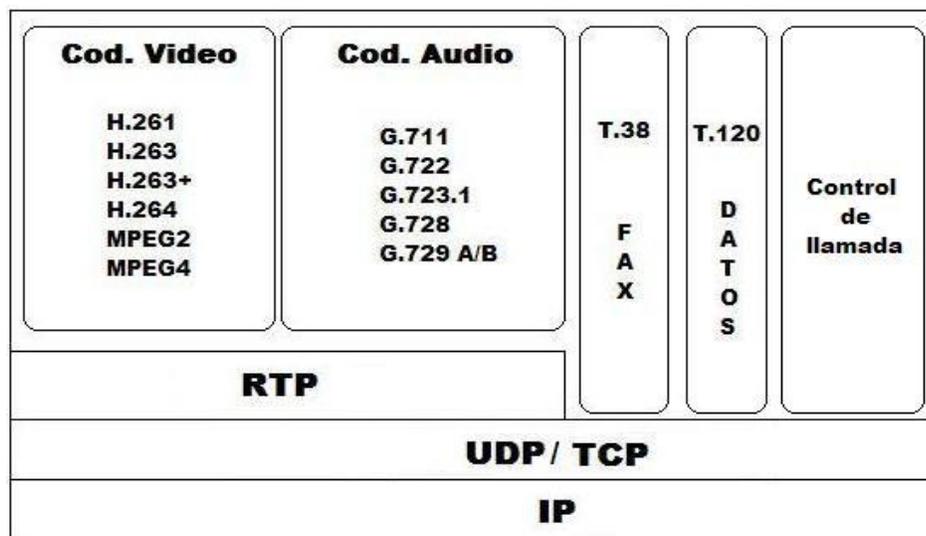
III.1.4 Comparación entre H.323 y SIP

Comparar H.323 y SIP puede ser innecesario a nivel de aplicación, ya que ambos emplean una secuencia de conexión semejante y permiten transferencia de Videoconferencia y datos. La diferencia entre los dos radica en la señalización y los efectos que producen sobre parámetros como retardo en la conexión, complejidad, procesamiento computacional, etc.

La Figura 7 presenta el conjunto de protocolos empleados por H.323 y SIP, y se puede observar, como se dijo con anterioridad, diferencias en los protocolos de señalización y control.



a) H.323



b) SIP

Figura 7. Conjunto de Protocolos empleados: a) H.323 [ITU-T Rec. H.323, 2000], b) SIP [Rosenberg, 2002]

A pesar que cada uno tiene ventajas y desventajas, este trabajo se basa en H.323 ya que es la recomendación de mayor uso en los dispositivos de Videoconferencia existentes.

Se observa que los protocolos empleados en ambas recomendaciones difieren entre sí e inclusive se podría especular que SIP es mejor ya que es más compacto en componentes protocolarios que H.323, sin embargo, lo anterior no se puede comprobar hasta que se realizan pruebas de los protocolos de señalización; lo cual no es tema a tratar en este trabajo. A partir de este momento se debe tener en claro que la recomendación seleccionada para la transmisión de Videoconferencia o aplicaciones en tiempo real ha sido H.323 y en consecuencia, las siguientes secciones hacen referencia a dicha recomendación.

III.1.5 Componentes de Línea para H.323

H.323 surgió en 1994 en el grupo de telecomunicaciones de la ITU y desde esa fecha forma parte de la serie H. Existen hasta hoy, tres versiones de H.323, las cuales se han ido desarrollado paulatinamente para ofrecer a los usuarios una mejor opción de conexión. H.323 define los protocolos para señalización, control, comunicación, establecimiento de conexión, codificadores y decodificadores de audio y video. Así mismo, propone componentes de red (Figura 8), algunos opcionales y otros obligatorios, para la realización exitosa de sesiones de videoconferencia ya sea punto a punto o punto a multipunto, la información

presentada puede ser ampliada en [ITU-T Rec. H.323, 2000]. Cabe mencionar que H.323 no es exclusivo de Videoconferencia, en general maneja aplicaciones en tiempo real (e.g. voz sobre IP).

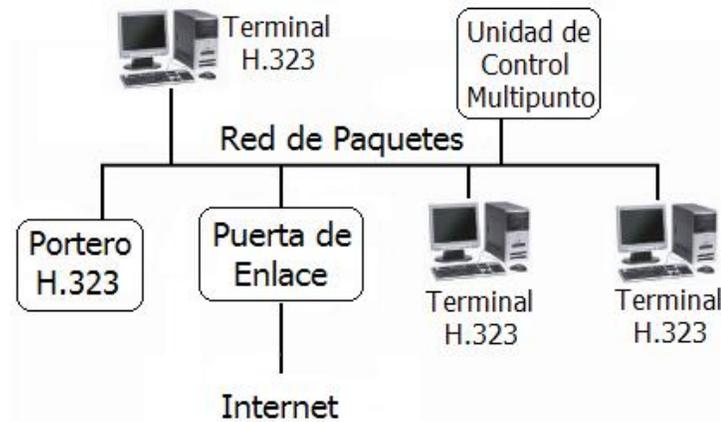


Figura 8. Elementos de red de H.323 [ITU-T Rec. H.323, 2000].

III.1.5.1 Terminal H.323

La terminal H.323 es la encargada de proporcionar la comunicación bidireccional en tiempo real de video, voz, datos, video y voz, video y datos, voz y datos o los tres en conjunto, hacia otra terminal H.323, puerta de enlace o unidad de control multipunto [ITU-T Rec. H.323, 2000].

III.1.5.2 Puerta de Enlace H.323 (Gateway)

La puerta de enlace H.323 provee comunicación bidireccional en tiempo real entre terminales H.323 en una red basada en paquetes y otras terminales

pertenecientes a recomendaciones ITU-T como H.310, H.320, etc.; sobre redes de conmutación de circuitos u otra puerta de enlace [ITU-T Rec. H.323, 2000].

III.1.5.3 Portero H.323 (Gatekeeper)

El portero H.323 es una entidad opcional que permite traslación de direcciones y accesos de control a la red para terminales H.323, puertas de enlace y unidades de control multipunto. También puede ofrecer servicios como manejo de ancho de banda y localización de otras puertas de enlace [ITU-T Rec. H.323, 2000].

III.1.5.4 Unidad de Control Multipunto H.323 (MCU)

La unidad de control multipunto es un componente que permite la comunicación en tiempo real entre tres o más terminales o puertas de enlace y controla el establecimiento de llamadas y el intercambio de voz, video y datos en una conferencia [ITU-T Rec. H.323, 2000].

III.1.6 Protocolos de H.323

Como se mencionó con anterioridad, esta recomendación reúne una serie de protocolos mostrados en la Figura 7 inciso a), ubicada en la sección III.1.4, donde tenemos la recomendaciones de los codificadores de audio y video, protocolos para el transporte, así como aquellos protocolos que ayudan a

establecer la conexión. Para este trabajo de tesis toman especial importancia los protocolos y las recomendaciones mencionadas a continuación, ya que establecen las características técnicas de cada uno de ellos y a partir de ellas se puede realizar el modelado correspondiente:

- Codificadores/Decodificadores de audio.
- Codificadores/Decodificadores de video.
- Protocolo para transmisión de datos.
- Protocolos de tiempo real
- Protocolos de transporte

III.1.6.1 Codificadores/Decodificadores de Audio

Los codecs de audio definidos en H.323 y sus características principales pueden ser encontradas en la serie G del Grupo de Telecomunicaciones de la ITU. En la Tabla II se muestran los codecs actuales más significativos, así como algunas propiedades de interés.

Cualquiera de los codecs presentados en la Tabla II, puede ser empleado para Videoconferencia, pero es importante conocer sus características técnicas para saber si será eficiente en el sistema de comunicación que se está proponiendo usar para dicha aplicación.

Tabla II. Recomendaciones para codecs de audio [ITU-T Rec. Series G, 2000].

Codec	Tasa de bit	Calidad de Voz	Retardo
G.711 PCM	64 kbps	Muy buena	Mínimo
G.722 SB-ADPCM	64, 56, 48, 32 y 24 kbps	Buena	Bajo
G.723.1MP-MLQ	6.4 kbps	Buena	Bajo
G.723.1 ACELP	5.3 kbps		
G.728 LD-CELP	16 Kbps	Buena	Bajo
G.729 CS-ACELP	8 kbps	Buena	Bajo

PCM: Modulación de Pulsos Codificados.

SB-ADPCM: PCM Diferencial Adaptivo de Sub-banda.

MP-MLQ: Cuantización Multipulso de Máxima Verosimilitud.

ACELP: Predicción Lineal de Excitación por Código Algebraico.

LD-CELP: Predicción Lineal de Excitación por Código de Bajo Retardo.

CS-ACELP: Predicción Lineal de Excitación por Código Algebraico con Estructura Conjugada.

En este trabajo se emplea el codec de audio definido por la recomendación G.722 ya que tiene una amplia gama de funcionalidades que permiten obtener un buen desempeño de nuestro sistema.

La recomendación G.722 SB-ADPCM surge en 1988 bajo el Grupo de Telecomunicaciones de la ITU. Define las características de un sistema de codificación de audio que abarca frecuencias entre 50 y 7000 Hz y permite audio de alta calidad. Asimismo, G.722 tiene varios modos de operación que corresponden a la tasa de transmisión que emplean: 64, 56, 48, 32 y 24 kbps. El retardo provocado por este códec no excede los 4 ms de acuerdo a [ITU-T Rec. G.722, 1988], lo cual es apropiado para el sistema propuesto debido al elevado retardo por propagación existente en satélites geoestacionarios.

III.1.6.2 Codificadores/Decodificadores de Video

La recomendación H.323 define codificadores/decodificadores de video, los cuales permiten la transmisión de dicho tráfico de manera sincronizada entre diferentes terminales. Las recomendaciones para videoconferencia se pueden encontrar en las recomendaciones de la ITU-T en la serie H y particularmente en esta tesis se emplea H.263.

La recomendación H.263 fue publicada en 1998 en la ITU y es una versión mejorada de H.261. La Figura 9 muestra el diagrama a bloques del codificador y decodificador de esta recomendación de acuerdo a [ITU-T Rec. H.263, 2005].

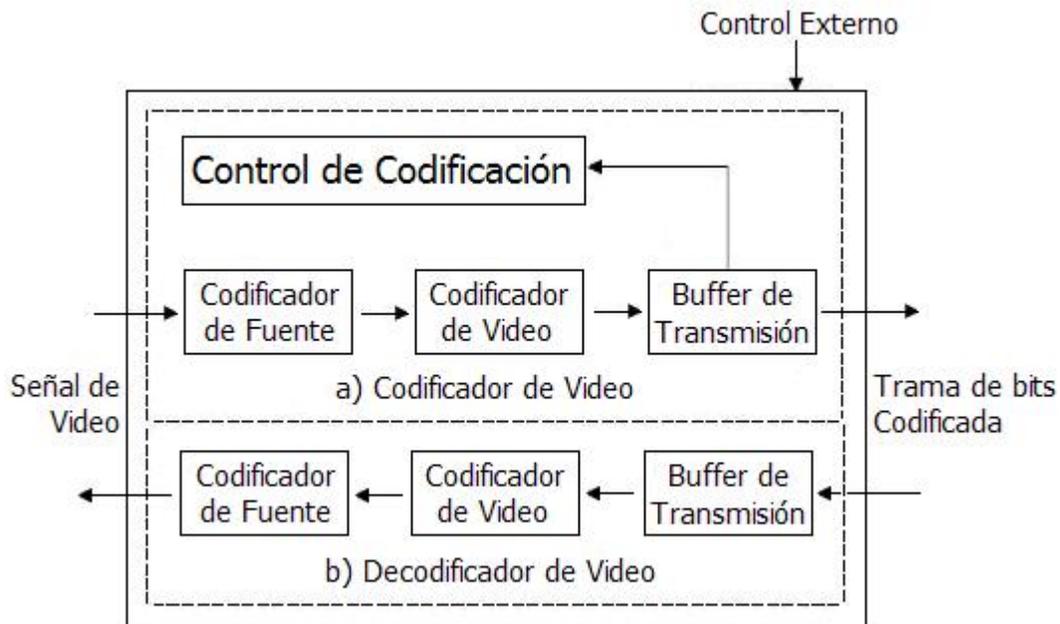


Figura 9. Diagrama a bloques de H.263, a) codificador de video, b) decodificador de video. [ITU-T Rec. H.263, 2005]

La recomendación H.263 está diseñada para ser usada en redes con poco ancho de banda disponible, como los enlaces satelitales, ya que su algoritmo contiene predicción inter-imagen que elimina la redundancia espacial. Además, tanto el codificador como el decodificador tienen la capacidad de compensación de movimiento.

III.1.6.3 Protocolo para Transmisión de Datos

La recomendación T.120 fue publicada en la ITU en 1996 y provee los mecanismos para establecer y manejar comunicaciones interactivas entre dos o más terminales a través de una variedad de redes de comunicaciones, tales como PSTN, N-ISDN, B-ISDN, etc. Además, permite la intercomunicación entre terminales empleando diferentes estándares para Videoconferencia como H.310, H.323, etc., con la única condición de contar con los elementos de red necesarios para establecer dicha comunicación [ITU-T Rec. T.120, 1996]. La Figura 10 muestra esta capacidad de intercomunicación.

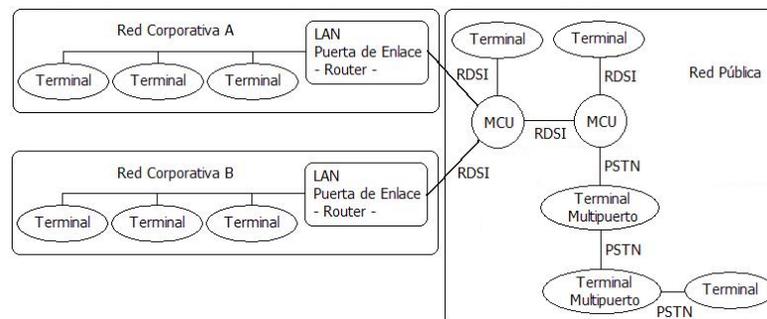


Figura 10. Interoperabilidad entre terminales con T.120. [ITU-T Rec. T.120, 1996].

III.1.6.4 Protocolo de Tiempo Real

El protocolo de tiempo real (RTP), está definido en el RFC 1889 y sigue los principios de la capa de aplicación para ofrecer información acerca de lo que se transporta en él. RTP genera los mecanismos necesarios a través del protocolo de control de sesión (RTCP) para entregar servicios en tiempo real, como audio y video interactivo, entre las terminales involucradas. Entre dichos servicios ofrecidos por este protocolo encontramos:

- Identificación de tipo de carga útil.
- Secuencia de numeración.
- Estampa de tiempo.
- Monitoreo.

Con los puntos anteriores podemos extraer información importante o establecer relaciones que nos permitan conocer estadísticas acerca de la información de paquetes como puede ser pérdida de paquetes, jitter y latencia. En la Figura 11 se muestra la estructura del encabezado de RTP y la Tabla III las definiciones de los campos que integran dicho encabezado.

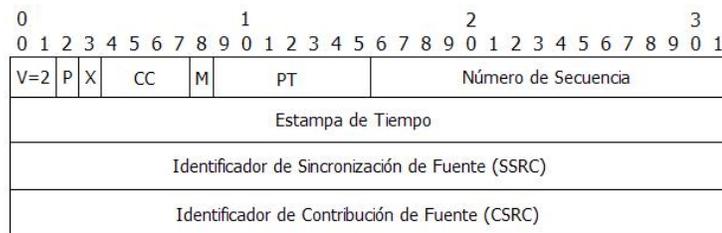


Figura 11. Campos del encabezado de RTP [Schulzrinne, 1996].

Tabla III. Cantidad de bits empleados por cada campo del encabezado de RTP [Schulzrinne, 1996].

Campo	Abreviatura	Bits empleados
Versión	(V)	2
Relleno	(P)	1
Extensión	(X)	1
Incluir CSRC	(CC)	4
Marcador	(M)	1
Tipo de Carga Útil	(PT)	7
Número de Secuencia		16
Estampa de Tiempo		32
Identificador de Sincronización de Fuente	SSRC	32
Identificador de Contribución de Fuente	CSRC	32 c/item

Una desventaja de este protocolo es que no proporciona ninguna calidad de servicio debido a que no considera la entrega secuencial de paquetes.

El protocolo de control de sesión también juega un papel importante ya que mantiene la sesión RTP entre las terminales involucradas. Regularmente RTP es transmitido sobre el protocolo de datagrama de usuario (UDP), pero en caso de no poder ser establecida la sesión sobre este protocolo de transporte puede ser enviado a través del protocolo de control de transferencia (TCP), por lo que ambos protocolos serán tratados en la sección siguiente.

III.1.6.5 Protocolo de Control de Transferencia (TCP)

El protocolo de control de transferencia está especificado dentro del RFC 0793 y es un protocolo para controlar la transferencia de información independientemente si es en tiempo real o no. Su tarea es verificar la entrega de

información correctamente ya que cuenta con algoritmos de transmisión de paquetes de reconocimiento, los cuales en caso de existir alguna pérdida en la secuencia, solicita la retransmisión de dicho paquete perdido, además cuenta con detección de errores y pérdida de datos.

El tráfico transmitido sobre este protocolo se conoce como tráfico elástico y algunos de este tipo de tráfico son FTP y HTTP, protocolo de transferencia de archivos y protocolo de transferencia de hipertexto, respectivamente [Sun, 2006]. Es importante abordar este protocolo ya que el expediente médico es transmitido por TCP.

III.1.6.6 Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP)

Contrariamente a TCP el protocolo de datagrama de usuario (UDP) no garantiza la entrega de información, pero mejora su desempeño radicalmente en combinación con el protocolo de tiempo real, el cual cuenta con algunos campos que auxilian. Por lo anterior el protocolo de datagrama de usuario es una opción factible para las aplicaciones en tiempo real. Este protocolo está definido en el RFC 0768. El tráfico que fluye por este protocolo se conoce como inelástico, los flujos en tiempo real pueden ser un ejemplo de este tipo de tráfico [Sun, 2006].

Hasta este momento se han revisado los protocolos que permiten la transmisión de Videoconferencia como portadora de información médica, a

continuación se expondrán dos aplicaciones más involucradas en este trabajo de tesis: los expedientes médicos y las señales biomédicas para telemonitoreo.

III.2 Expediente Médico

Esta aplicación puede ser explicada brevemente. Consta de una serie de imágenes médicas adquiridas a través de equipo especializado, tales como electrocardiogramas, encefalogramas, radiografías, etc. Dichas imágenes ya tienen una medida de almacenamiento predefinida de acuerdo al tipo de compresión empleada y resolución que se desee alcanzar, como se vio en el Capítulo II. La Tabla IV ofrece información de las imágenes relacionadas al expediente médico, así como la cantidad en megabytes que ocupan en almacenamiento. Las imágenes seleccionadas fueron consideradas de acuerdo a [Cabanillas, 2005] y para el tamaño en almacenamiento se consideran los valores mostrados en la Tabla I del Capítulo II, la cual hace referencia a la cantidad de imágenes adquiridas regularmente por examen de diferentes tipos de éstas, sin embargo, el hecho de que se realicen varias muestras no significa que se empleen todas para realizar el diagnóstico.

El expediente médico ha sido identificado como una herramienta de apoyo para que los profesionales de la salud puedan sustentar las decisiones que toman al realizar el diagnóstico u ofrecer una segunda opinión del caso médico tratado. En este trabajo de investigación, es importante considerar el expediente médico en

su medida fija de almacenamiento, ya que permite cuantizar cuántos bytes estaremos enviando, puesto que las imágenes digitalizadas pueden ser tomadas como datos a transmitir. Como se puede inferir, esta no es una aplicación en tiempo real.

Tabla IV. Imágenes que conforman el Expediente Médico.

Imagen	Cantidad de imágenes	Nombre de la imagen	Megabytes empleados (totales)
	15 – 40	Angiografía	4 – 10
	2	Radiografía Digitalizada	16
	2	Radiografía Computarizada	16
	1	Electrocardiograma	0.25
	20 – 240	Ultrasonido	5 – 60
	4- 20	Lámpara de Hendidura	3 – 15

La cantidad en Megabytes para el expediente médico oscila entre los 0.25 y 117.25, y se obtienen considerando solo una imagen de electrocardiograma en el caso del primero, o todas las imágenes posibles del expediente clínico para el segundo.

La finalidad de esta aplicación, así como la de la siguiente sección, es analizar la posibilidad de transmisión simultánea de aplicaciones sin que la calidad de la Videoconferencia se vea afectada.

III.3 Señales Biomédicas

El Telemonitoreo, como su nombre lo indica, es la monitorización de pacientes a largas distancias. Se busca observar las señales vitales más significativas que pueden ser obtenidas del cuerpo humano para ser transmitidas en tiempo real, a algún lugar remoto donde puedan ser analizadas o se necesiten enviar. A dichas señales se les conoce como señales biomédicas y en la siguiente sección se explican en más detalle.

III.3.1 Clasificación

Una señal biomédica se refiere a la señal usada en el campo biomédico, permitiendo la extracción de información de algún sistema biológico en investigación [Bronzino, 2000]. La extracción de información puede ir desde un pulso cardiaco hasta el análisis de estructuras de tejidos tomadas con equipo de tomografías computarizadas.

Como en casi todas las aplicaciones donde se emplean señales que llevan información, en ocasiones no es suficiente con la adquisición de ésta, por lo que es necesario realizar un proceso posterior para obtener la información relevante. Lo

anterior es debido a dos situaciones: al ruido sumado sobre la señal o que la información no sea "visible" en la misma. En el caso de la segunda, se puede aplicar algún tipo de transformación para obtenerla. Si se desea ampliar la información revisar [Bronzino, 2000].

Existen varios métodos para la obtención de las señales biomédicas, pero es de suma importancia conocer cuál es el objetivo del procesamiento, las condiciones de prueba y las características de la señal.

Las señales biomédicas pueden ser clasificadas de acuerdo a tres consideraciones [Bronzino, 2000]:

- *Por el origen:* Se refiere a la fuente de donde se obtiene la señal, considerando el fenómeno a través del cual se adquiere dicha señal [Bronzino, 2000]. La Tabla V presenta esta clasificación ya que es una forma generalizada de entender los diferentes tipos de señales biomédicas.
- *Por aplicación médica:* Cuando la señal se adquiere y procesa con propósito de diagnóstico, monitoreo o algún otro fin en mente [Bronzino, 2000]. Esta clasificación puede ser construida de acuerdo al campo de aplicación (e.g. cardiología, neurología, etc.).
- *Por las características de la señal:* Esta viene del punto de vista del análisis de las señales, una vez que se ha procesado lo que se desea ya

no importa la fuente o el sistema biomédico, sino las características de la señal [Bronzino, 2000].

La clasificación de acuerdo a las características de la señal es, sin lugar a duda, el método más relevante para nuestra causa, ya que presenta las características intrínsecas de las señales de interés. Para obtener dichas señales es necesario hacer uso de la teoría de procesamiento digital de señales, esto es, realizar un proceso de adquisición el cual se explica en la siguiente sección.

Tabla V. Clasificación de señales biomédicas por su origen [Bronzino, 2000].

Tipo de Señales Biomédicas	Descripción
Señales Bioeléctricas	Son producidas por células nerviosas y musculares. Su fuente es el potencial de la membrana, la cual, bajo ciertas condiciones puede ser excitada para generar un potencial activo.
Señales de Bioimpedancia	Usualmente son generadas al inyectar corrientes sinusoidales de prueba al tejido biológico. Normalmente se emplean 4 electrodos, dos inyectan las corrientes y los otros dos sirven para el sensado.
Señales Bioacústicas	Este tipo de señales son producidas por fenómenos como el flujo de sangre, el aire por las vías respiratorias, etc. Estas ondas acústicas se propagan por el medio biológico y son adquiridas en la superficie utilizando transductores acústicos como micrófonos o acelerómetros.
Señales Biomagnéticas	Este tipo de señales son campos magnéticos de bajo nivel por lo que su relación señal a ruido es muy baja.
Señales Biomecánicas	Incluye todas las señales originadas por funciones mecánicas del sistema biológico como movimiento, desplazamiento, presión, tensión y fluido, entre otras. Debido a que el fenómeno no se propaga en ocasiones deben usarse métodos invasivos.
Señales Bioquímicas	Son resultado de mediciones químicas del tejido vivo o muestras analizadas en laboratorios clínicos.
Señales Bioópticas	Son el resultado de funciones ópticas del sistema biológico, naturales o inducidas por los equipos de medición.

III.3.2 Proceso de Adquisición de Señales Biomédicas

La Figura 12 es un diagrama a bloques de las etapas que sigue el proceso de digitalización para una señal biomédica. Como se observa primeramente deben ser adquiridas las señales de interés a través de sensores o transductores. Posteriormente existe una etapa de amplificación ya que en ocasiones dichas señales son de baja frecuencia. Después se tiene una etapa crítica, el filtrado analógico, el cual tiene como finalidad eliminar todas las componentes frecuenciales consideradas como ruido, ya que de no eliminarse éstas también serían muestreadas y cuantizadas, por lo que la información del sistema biológico sería recuperada en la recepción erróneamente.

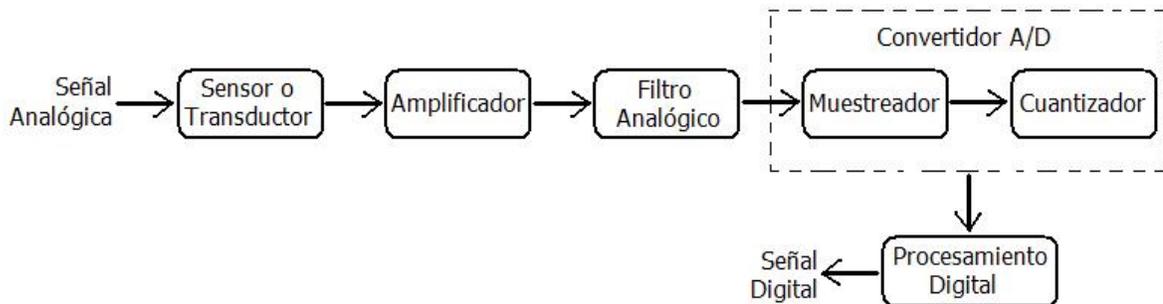


Figura 12. Diagrama a bloques del procesamiento analógico/digital que debe seguir una señal biomédica [Bronzino, 2000].

Diferentes tipos de filtros pueden ser empleados dependiendo del tipo de señal biomédica y lo que se desee extraer de ella. Debido a que abundar en teoría de filtros no es tema de este trabajo se recomienda atender las dudas en literatura

como [Oppenheim, 1975]. Después de haber sido tratadas las señales biomédicas con los procedimientos descritos en esta sección, pueden ser fácilmente tratadas, transmitidas o almacenadas.

Lo que si corresponde a esta tesis son las consideraciones de muestreo y cuantización de la señal biomédica de interés, ya que este procedimiento define el ancho de banda que empleará dicha señal para ser transmitida. Debido a que el ancho de banda está relacionado directamente con la aplicación a considerar se hará una revisión a las señales bioacústicas, las cuales son de nuestro interés.

III.3.2.1 Señales Bioacústicas

Las señales bioacústicas se emplean para escuchar sonidos provenientes del cuerpo humano como pueden ser la respiración, los latidos del corazón, movimiento intestinal, etc., como describe [Bronzino, 2000]. Para su adquisición se emplean transductores acústicos que van integrados en un sistema de procesamiento digital para adquisición como el mostrado en la Figura 12, el cual se conoce como estetoscopio digital.

Es importante mencionar que estos dispositivos deben ser instrumentados con gran exactitud ya que las frecuencias son bajas y varían entre sí dependiendo de las aplicaciones. La Tabla VI muestra las diferentes frecuencias que se manejan para sonidos intestinales, cardíacos y respiratorios de acuerdo a [Bronzino, 2000]. La numeración que sigue al nombre de la aplicación hace referencia al tipo de

información que se desea extraer y sería extenso realizar una explicación, por lo que se recomienda revisar [Bronzino, 2000] en caso de interés.

Tabla VI. Frecuencias para sonidos intestinales, respiratorios y cardiacos [Bronzino, 2000].

Aplicación	Rango de Frecuencias	Dispositivo empleado
Corazón 1	20 – 250 Hz.	Estetoscopio Digital
Corazón 2	20 – 500 Hz.	Estetoscopio Digital
Intestino 1	20 – 250 Hz.	Estetoscopio Digital
Intestino 2	20 – 500 Hz.	Estetoscopio Digital
Pulmón 1	70 – 1000 Hz.	Estetoscopio Digital
Pulmón 2	150 – 1600 Hz.	Estetoscopio Digital
Pulmón 3	250 – 1600 Hz.	Estetoscopio Digital

Las señales obtenidas de estos transductores acústicos pueden ser escuchadas por el médico profesional directamente, o ser transmitidas en tiempo real a otro lugar a través de sistemas de comunicación para su valoración remota por especialistas como Cardiólogos, Otorrinolaringólogos u Oncólogos, que puedan ofrecer un diagnóstico respecto al caso médico en cuestión.

Para la transmisión, la señal debe ser filtrada y transformada de analógica a digital a través de los procesos de muestreo y cuantización; y transferida por el medio de comunicación más adecuado. El sistema de comunicación determina el ancho de banda con que se contará para la transmisión de dicha señal, por lo tanto, es importante conocer el ancho de banda requerido por la señal acústica digitalizada.

De esta forma se han expuesto las tres aplicaciones que se considerarán en este trabajo de tesis con la finalidad de sustentar aquellos valores de calidad de servicio que puedan llenar las expectativas de los profesionales y especialistas de la salud en nuestro país.

A partir del siguiente capítulo, este documento enfatizará el escenario de simulación y sus consideraciones; el modelado y simulación de parámetros de QoS y fuentes de tráfico, así como el análisis de resultados correspondiente.

Capítulo IV

IV. Modelado Matemático

El modelado de las fuentes de tráfico y parámetros de calidad de servicio es parte medular de esta investigación, ya que contiene las definiciones matemáticas que permiten realizar un escenario de simulación similar a una implementación real. Con la finalidad de dar continuidad a este trabajo, en este capítulo se presenta primero el escenario de simulación y después el modelado de las aplicaciones médicas y los parámetros de calidad de servicio involucrados en este trabajo de investigación.

IV.1 Escenario

El escenario para realizar las simulaciones se presenta en la Figura 13, donde se tiene un enlace satelital tipo VSAT extremo a extremo entre clínicas de segundo y tercer nivel, ubicadas en Ensenada y Tijuana Baja California, respectivamente. Así como clínicas de segundo nivel y el Centro Médico Nacional

20 de Noviembre, Ensenada, B.C. y Cd. de México, respectivamente. Donde se realizan sesiones de Videoconferencia entre ellos para entregar servicios de Teleconsulta, Telediagnóstico, Teleasistencia y Telemonitoreo, así como la transmisión de un expediente médico vía FTP, como se explicó en el Capítulo III.

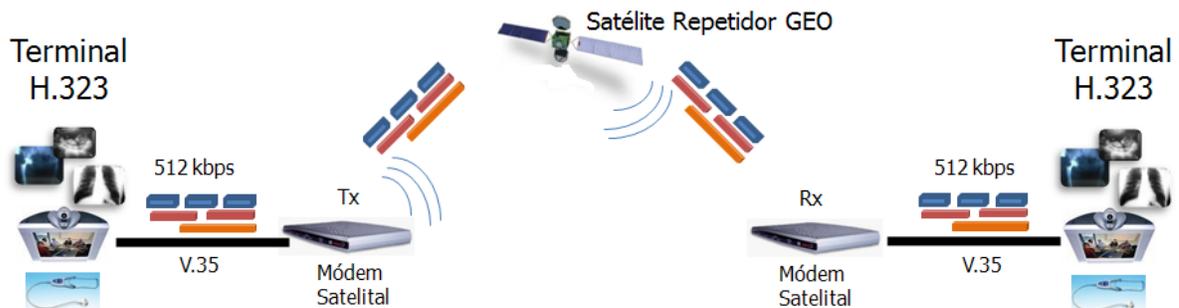


Figura 13. Escenario de simulación para clínicas involucradas.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para las simulaciones serán expuestas en el capítulo V al presentar los resultados de las simulaciones realizadas. Por el momento, se proseguirá con el modelado de las aplicaciones médicas.

IV.2 Modelado de Aplicaciones Médicas

IV.2.1 Teleconsulta, Telediagnóstico, Teleasistencia y Telemonitoreo

Las cuatro aplicaciones de esta sección son entregadas a través de sesiones de Videoconferencia, por lo cual, el modelado matemático debe ser considerado tanto para voz como para video.

Ambos tipos de tráfico se pueden modelar a través de procesos markovianos, los cuales involucran la llegada de objetos, usuarios, paquetes, trabajos, etc., que demandan el servicio prestado por un servidor. El tiempo para estos procesos varía continuamente y puede tener un número finito o infinito de estados. Por otro lado, la transitoriedad y estabilidad de cada estado será caracterizada por las tasas de transferencia entre ellos.

IV.2.1.1 Voz

El tráfico de voz se modela en su comportamiento como un proceso Markoviano de dos estados, *ON-OFF*, voz activa y pasiva, respectivamente, y los cuales estarán regidos por las tasas de transferencias λ y μ como se muestra en la Figura 14.

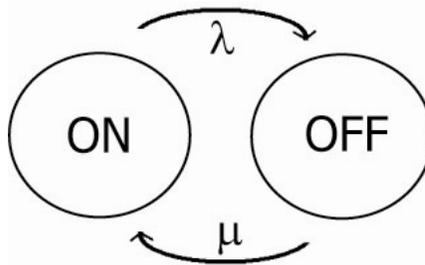


Figura 14. Proceso Markoviano para tráfico de voz sobre IP.

Debido a que el escenario se debe asemejar a una implementación real, se considera que el equipo empleado para la codificación de voz tiene un codec que trabaja de acuerdo a una función de distribución de probabilidad (PDF, en adelante) uniforme (Ecuación 1), y por lo tanto, se comporta como una tasa de bit constante, CBR. La ventaja de este método es que se puede predecir el tamaño del paquete y la desventaja, que tiene poca eficiencia. El CBR tiene un empleo amplio entre los diferentes códecs de audio.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases} \quad (1)$$

IV.2.1.2 Video

[Domoxoudis, 2004] abarca el modelado de tráfico de video. Este tipo de tráfico puede ser considerado, de acuerdo a la referencia dada al inicio de este párrafo, como un proceso Markoviano de treinta estados continuos regidos por sus

respectivas probabilidades de transferencia λ y μ , y con una PDF tipo gamma de cola larga dada por la Ecuación 2, donde, α y β son mayores que 0 y corresponden, respectivamente, a la forma y la escala. Ambos son parámetros numéricos de una familia de distribuciones de probabilidad, como menciona [Papoulis, 2002].

$$f_x(x) = \begin{cases} x^{\alpha-1} \frac{e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{para otro caso} \end{cases} \quad (2)$$

Así mismo, el video puede ser modelado de acuerdo a su comportamiento como un proceso Markoviano *ON-OFF*, semejante al de voz, con una PDF uniforme para el estado OFF y una PDF lognormal para el estado ON, como se describe en [Aguayo, 2004].

Para fines de este trabajo de tesis, se siguió la metodología descrita en [Fitzek, 2000]. Este grupo de telecomunicaciones perteneciente a la Universidad Tecnológica de Berlín sugiere el empleo de un software llamado *bttvgrab* [Walter, 2000]. Este programa permite la codificación de video YUV, correspondiente a un video sin compresión alguna, y entrega un archivo de trazo que puede ser ingresado al simulador directamente.

En esta tesis el video considerado fue de media a baja movilidad codificado en H.263 con tasas de bit de 256 kbps y VBR, con la finalidad de saber cuál de los

dos es la mejor opción. En la Figura 15 se presenta la distribución de paquetes del video codificado para ambos casos de acuerdo al tamaño de los mismos.

Se observa que para H.263 a 256 kbps la mayoría de los paquetes tienen un tamaño entre 2,000 y 7,000 bytes, aproximadamente, manteniendo un comportamiento uniforme y corresponden al estado OFF. Por otro lado, existen paquetes con un tamaño por encima de 7,000 bytes, los cuales son considerados parte del estado ON del modelado.

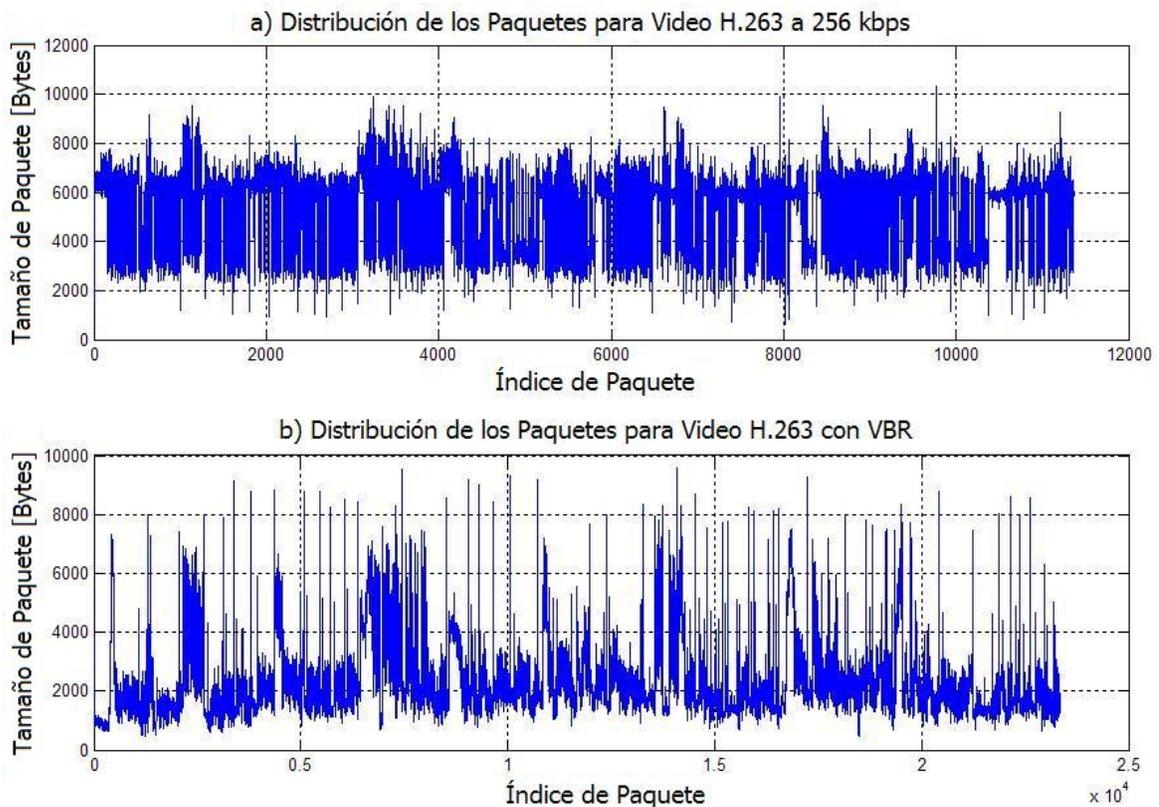


Figura 15. Distribución de paquetes de video codificado con H.263: a) 256 kbps, y b) VBR.

Para el video H.263 con VBR se tiene el estado OFF del modelado en el intervalo de 1,000 a 3,000 bytes, aproximadamente, y el estado ON está representado por los paquetes con un tamaño por encima de 3,000 bytes. Lo anterior permite concluir que la eficiencia del codificador utilizando H.263 con VBR es mejor que la del mismo codificador y recomendación con 256 kbps, ya que el tamaño de los paquetes en el estado OFF es minimizado por el algoritmo de codificación, lo cual permite un mejor uso del ancho de banda del sistema de comunicación empleado. Por otro lado, el estado ON es representado por los paquetes de mayor tamaño.

Además, como se muestra en la Figura 16, se corrobora que el video tiene una PDF tipo gamma de cola larga como se expone en [Domouxoudis, 2004]. La PDF obtenida fortalece la conclusión expuesta en el párrafo anterior, ya que se observa que la mayor concentración de paquetes se encuentra entre 1,000 y 3,000 bytes para el tamaño de los mismos.

Con lo anterior se comprueba que el video ingresado en el simulador cumple con los requisitos del modelado matemático que se ha desarrollado en [Aguayo, 2004] y [Domouxoudis, 2004], de acuerdo a su comportamiento se modela como dos estados, ON y OFF, y para la distribución de paquetes una PDF tipo Gamma de cola larga.

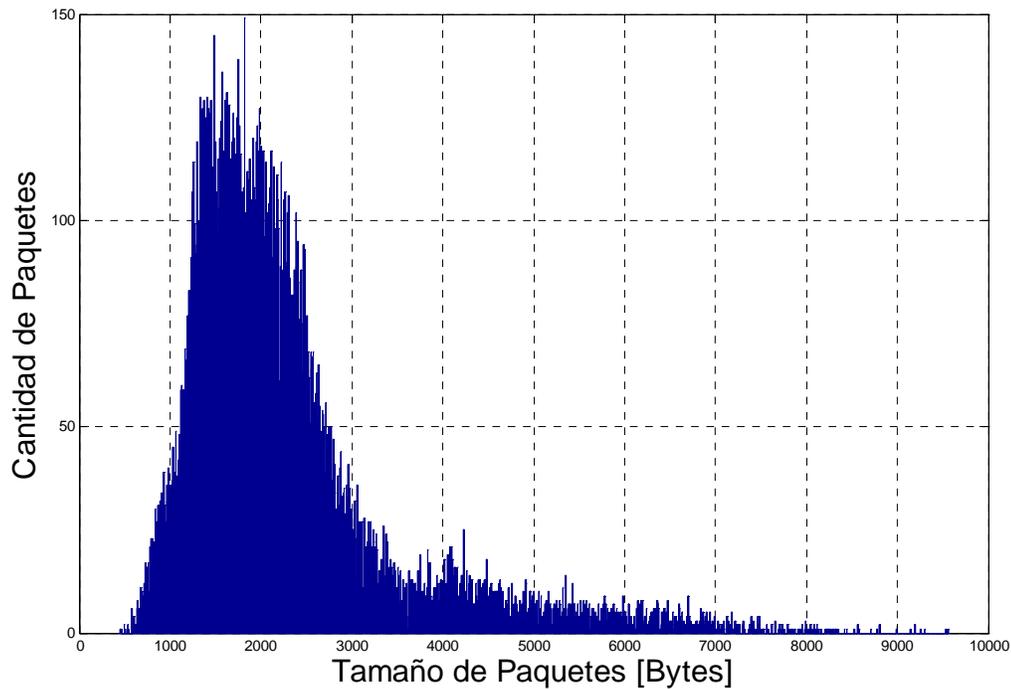


Figura 16. PDF o frecuencia relativa de paquetes para codificación H.263 con VBR.

IV.2.1.3 Señal Biomédica

Para simular la señal biomédica se debe establecer el ancho de banda que ocupará la señal al ser transmitida, lo que se logra a través del análisis de la etapa de procesamiento digital de la señal en el dispositivo de adquisición, en este caso un estetoscopio digital.

El primer procedimiento de dicha etapa es el muestreo, el cual está regido por el Teorema de Muestreo y nos dice que "la frecuencia de muestreo debe ser mayor o igual al doble de la frecuencia fundamental" como se define en [Oppenheim, 2002] y está representado por la Ecuación 3, donde, f_M es la

frecuencia de muestreo y f_m la frecuencia máxima extraíble de un sistema biológico a través del estetoscopio digital.

$$f_M \geq 2f_m \quad (3)$$

Por otro lado, tenemos la etapa de cuantización, la cual puede ser uniforme y no uniforme. Generalmente se emplea la cuantización uniforme en señales de audio, donde se emplea M bits para lograr la precisión deseada. La cantidad de bits empleados es directamente proporcional a la precisión. En este caso particular, la cantidad de bits en cada muestra oscila entre 10 y 16 de acuerdo a [Bronzino, 2000]. Una vez que se conoce este proceso digital es posible encontrar el ancho de banda que utilizará la señal biomédica, el cual está dado por la Ecuación 4, donde, con ayuda de la Tabla VI de la sección III.3.2.1, tenemos que $20 \leq f_m \leq 1600 \text{ Hz}$. y M varía entre 10 y 16 bits como ya se mencionó anteriormente.

$$AB = f_M \times M \quad (4)$$

Con lo anterior es posible conocer los intervalos de ancho de banda que empleará la señal bioacústica y por lo tanto, se estará en condiciones de manejarla adecuadamente. Si se toma el valor máximo posible de f_m , el cual es 1600 Hz y la cantidad más alta de bits posibles, se tendría que el ancho de banda ocupado por

dicha señal sería de 51.2 Kb/s, empleando la Ecuación 4, como se demuestra a continuación:

$$\begin{aligned} AB &= 2(1600 \text{ Hz}) \times 16 \text{ bits} \\ &= 3.2 \text{ KHz} \times 16 \text{ bits} \\ &= 51.2 \text{ Kb/s o Kbps} \end{aligned}$$

Dado que el ancho de banda máximo permisible para un canal de voz es de 64 kbps, también reportado por [Cone, 2004], se deduce que la señal biomédica puede ser transmitida por un canal de voz a través de sesiones de H.323 para ofrecer Telemonitoreo.

Por lo tanto, el modelo para el tráfico de la señal biomédica puede ser el de un canal de voz IP, un proceso Markoviano de dos estados *ON-OFF*, como se expuso en la sección IV.2.1.1.

IV.2.2 Expediente Médico

Esta aplicación médica puede ser entregada a los profesionales de la salud de manera confiable a través del protocolo de transferencia de archivos (FTP, en adelante), como se explicó en el Capítulo III.

FTP está basado en una arquitectura tipo cliente – servidor, por lo que en el momento en que el usuario se conecta al servidor puede comenzar con la transferencia de información y ésta se realizará hasta que el archivo de interés sea completamente transferido. Para más información puede consultarse [Postel,

1985]. Como el tamaño de paquete es fijo y la transferencia de información es constante se puede modelar el comportamiento de FTP como una PDF uniforme, (Ecuación 5), y es posible controlar el tiempo de la transferencia de información al momento de realizar la simulación con el tamaño del archivo.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases} \quad (5)$$

De esta manera se han presentado los modelos para las aplicaciones médicas y a continuación se exponen los parámetros de calidad de servicio calificados como intolerantes por las aplicaciones.

IV.3 Modelado de Parámetros de QoS

La definición de Calidad de Servicio es un tanto subjetiva y principalmente trata de cuidar aquellos requerimientos necesarios para satisfacer tanto a los usuarios que demandan el servicio como a las compañías que lo prestan. En los siguientes tres incisos se presentan tres formas de considerar la QoS:

- a) La habilidad de un elemento de red para proporcionar un nivel de seguridad en el cual los requerimientos de tráfico y ancho de banda pueden ser satisfechos [Kota, 2004].

- b) De acuerdo a la Organización Internacional de Estándares (ISO) se define como las características completas de una entidad que radica en su habilidad de satisfacer estados y ampliar necesidades.
- c) La ITU en su recomendación E.800 del grupo de trabajo ITU-T define "calidad de servicio" como el efecto colectivo del desempeño de servicio, el cual determina el grado de satisfacción del usuario del servicio.

Todas estas definiciones tienen el concepto medular que persigue la Calidad de Servicio, mencionado en el primer párrafo de esta sección.

Asimismo, durante el desarrollo de esta tesis se observó que dependiendo de la aplicación médica, la sensibilidad de ésta con respecto a los parámetros de QoS varía, como se describe en el anexo A. A partir de lo anterior, se identificaron los Parámetros de QoS que son intolerantes por las aplicaciones médicas de acuerdo a sus características, éstos fueron: i) latencia, ii) jitter, iii) tasa de bit erróneo, iv) tasa de pérdida de paquetes y v) caudal eficaz. En los siguientes apartados se presentan las definiciones y los modelos matemáticos de cada uno de ellos.

IV.3.1 Latencia

La latencia se define como el tiempo que le toma a un paquete para ser transportado del transmisor al receptor, por lo que se debe considerar todas aquellas etapas que producen un retardo de los paquetes durante su transmisión a

través del medio de comunicación. De forma general, la latencia puede ser definida matemáticamente como se presenta en la Ecuación 6, donde L es la latencia total extremo a extremo, N es el n-ésimo retardo agregado por paquete y T_i es el tiempo de permanencia del i-ésimo paquete en el sistema.

$$L = \sum_{i=1}^N T_i \quad (6)$$

La Ecuación 6 incluye los retardos por codificación, transmisión, acceso al medio, propagación, recepción y decodificación, como se muestra en la Figura 17, y se explican posteriormente.

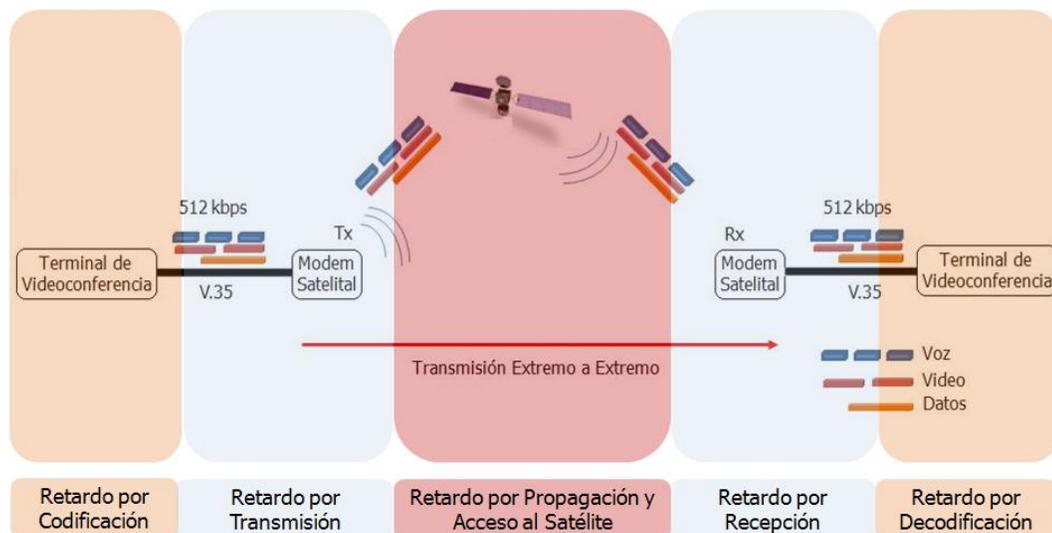


Figura 17. Retardos existentes para el escenario propuesto.

IV.3.1.1 Retardo por Codificación/Decodificación

El retardo por codificación depende directamente de los códecs que se estén empleando tanto para voz como para video, y de la capacidad y velocidad de procesamiento del equipo. Para propósito de este trabajo de investigación no es necesario el modelado matemático ya que se estará simulando un equipo real. Se sabe que el retardo por codificación de voz, usando G.722, no excede los 4 ms, de acuerdo a [ITU-T Rec. G.722. 1988], y que los valores de video con H.263, se obtienen de los archivos de trazo, como se puede observar en la Tabla VII.

Tabla VII. Retardo por codificación para ambas velocidades de codificación.

Vel. de Codificación	Retardo
256 kbps	80 ms
VBR	20 - 40 ms

IV.3.1.2 Retardo por Transmisión/Recepción

Este retardo relaciona el tamaño de paquete T_p con la tasa de transmisión R_t como se observa en la Ecuación 7, en la cual, L_t representa la latencia por transmisión y de igual forma puede ser aplicada a la etapa de recepción.

$$L_t = \frac{T_p}{R_t} \quad (7)$$

Este tipo de latencia puede ser considerada como mínima si se compara con su similar de propagación, sin embargo, tiene una influencia importante en la tasa de pérdida de paquetes ya que si este retardo es mayor al tamaño de buffer, los paquetes serán eliminados del sistema.

IV.3.1.3 Retardo por Propagación

Este retardo es el que más afecta a las comunicaciones mediante satélites geoestacionarios, debido a las grandes distancias que recorre la información. Para su modelado se deben considerar varios aspectos en la geometría del enlace como se muestra en la Figura 18, donde d_s es la distancia de la estación terrena al satélite, E_l el ángulo de elevación, h_s la altura de la órbita satelital, r_s el radio del centro de la Tierra a la órbita satelital y r_E el radio de la Tierra.

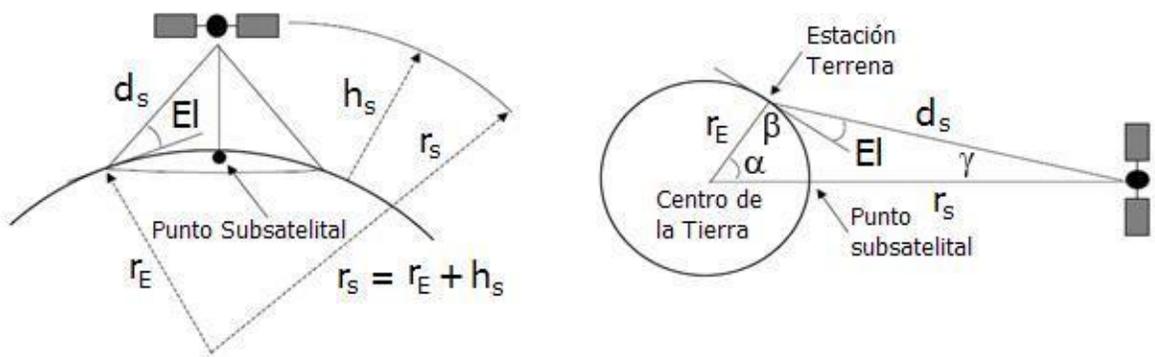


Figura 18. Geometría utilizada para el cálculo del retardo por propagación [Cabanillas, 2004].

Los ángulos α , β y γ del triángulo que se forma entre el centro de la Tierra, la estación terrena y el satélite permiten conocer la distancia de las estaciones terrenas al satélite empleando las Ecuaciones 8 y 9, donde, lat_{ET} y $long_{ET}$ corresponden a la latitud y longitud de la estación terrena, $long_{sat}$ es la longitud del satélite y d_{ET-sat} es la distancia de la estación terrena al satélite.

$$\cos \alpha = \cos(lat_{ET}) \times \cos(long_{sat} - long_{ET}) \quad (8)$$

$$d_{ET-sat} = r_s \sqrt{1.02274 - 0.301596 \cos \alpha} \quad (9)$$

Con la distancia de la estación terrena al satélite se encuentra el tiempo que tardará en propagarse la información utilizando la Ecuación 10, en la cual, t_{ET-sat} es el retardo por propagación de la estación terrena al satélite, d_{ET-sat} la distancia de la estación terrena al satélite y v la velocidad de la luz.

$$t_{ET-sat} = \frac{d_{ET-sat}}{v} \quad (10)$$

Por último, para encontrar el retardo completo en el enlace satelital solamente se suman los tiempos de propagación de las estaciones terrenas involucradas en el enlace al satélite.

IV.3.1.4 Retardo por Acceso al Medio

La principal consideración para este retardo es conocer qué técnica de acceso al medio se está empleando. En este trabajo se utiliza un acceso al medio de tipo FDMA/SCPC, en el cual no se agrega ningún retardo por acceso al satélite ya que es una asignación fija y empleará todo el ancho de banda disponible [Everett, 1993].

En conjunto, todos los retardos mencionados en esta sección forman el retardo o latencia extremo a extremo de cada paquete enviado a través del sistema de Telemedicina propuesto.

IV.3.2 Jitter

El jitter se define como la variación en el tiempo de retardo que existe en su tránsito de extremo a extremo del enlace. Para el modelado de este parámetro se hace referencia a [Schulzrinne, 1996] haciendo uso de las estampas de tiempo de los encabezados del protocolo de tiempo real para cada paquete enviado y recibido. Si S_i es la estampa de tiempo de RTP del paquete i y R_i es el tiempo de llegada en unidades de la estampa de tiempo de RTP para el mismo paquete i , entonces para dos paquetes i y j , el espaciamiento entre paquetes D_i en el receptor comparado con los paquetes salientes del transmisor está dado por la Ecuación 11.

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i) \quad (11)$$

En consecuencia, el jitter puede ser calculado recursivamente usando D para cada paquete i y el previo $i-1$, tomando en cuenta el orden de llegada, a través de la Ecuación 12, donde el entero divisor 16 es un parámetro de ganancia para un estimador óptimo de primer orden reduciendo el ruido y ofreciendo una razonable tasa de convergencia. Si se desea más información se puede revisar [Schulzrinne, 1996].

$$J = \frac{j + (|D(i-1, i)| - j)}{16} \quad (12)$$

IV.3.3 Tasa de Pérdida de Paquetes

Este parámetro se define como la división del número de paquetes no entregados respecto al total de paquetes enviados y la expresión que lo define está dada por la Ecuación 13, donde PP son los paquetes totales perdidos en el enlace y $Psnd$ son los paquetes totales enviados.

$$PLR = \frac{PP}{Psnd} \times 100 \quad (13)$$

Con esta expresión se encuentra el porcentaje de paquetes perdidos extremo a extremo.

IV.3.4 Tasa de Bit Erróneo

La tasa de bit erróneo es la cantidad de errores de bit que se presentan para una cierta cantidad de bits transmitidos. Para este trabajo de investigación este parámetro se ha mantenido constante, ya que de los resultados y aportaciones de [Pierucci, 2000] se concluye que un BER de 10^{-6} es suficiente para ofrecer servicios multimedia, más no se presentan resultados de otros parámetros de calidad de servicio. Por lo tanto, esta referencia permite sustentar la invariancia en este parámetro para fines de esta tesis. En caso de ser necesario, el BER se obtiene siguiendo la metodología presentada en [Maral, 2002], [Cabanillas, 2004] o [Del Valle, 2006].

IV.3.5 Caudal Eficaz

La definición del caudal eficaz es el tráfico que ha llegado exitosamente al receptor y se expresa en porcentaje. Matemáticamente se puede modelar como se muestra en la Ecuación 14, en la cual PRx son los paquetes totales recibidos y $Psnd$ los paquetes totales enviados.

$$C = \frac{PRx}{Psnd} \times 100 \quad (14)$$

A través de esta ecuación se encuentra el porcentaje de paquetes recibidos exitosamente y así tener información de la capacidad del canal de comunicación.

Es importante destacar que las expresiones y metodologías presentadas en esta sección, son aquellas que se introdujeron y realizaron en el simulador para la obtención de los resultados que se presentarán en el siguiente capítulo. Por otro lado, la validación de resultados tiene una relevancia importante en el desarrollo de este trabajo, por lo que en la siguiente sección se expone el tema.

IV.4 Validación de Resultados

Con la finalidad de tener una validación de los resultados que se obtengan, fue realizada la Tabla VIII en el Grupo de Comunicaciones Inalámbricas de CICESE entre Edna Iliana Tamariz Flores y el que suscribe, ambos estudiantes de la Maestría en Ciencias, donde se relacionan diferentes aplicaciones médicas los parámetros de calidad de servicio que más afectan dichas aplicaciones. Además se ofrecen valores de los límites inferiores y superiores de jitter, latencia, BER y PLR para aplicaciones médicas. Para mejor entendimiento de la Tabla VIII, en el anexo D se presenta una descripción de la misma con mayor detalle.

Tabla VIII. Relación existente entre aplicaciones médicas y parámetros de calidad de servicio.

Valores Técnicos de Calidad de Servicio para diversas Aplicaciones Médicas						
Aplicación Médica	Recomendaciones ITU	Parámetros que Impactan en la Degradación		Parámetros Fijos		Áreas de Especialidad
EXPEDIENTE MÉDICO	Datos Recomendación T.120	BER	10exp-3	BER	10exp-3	Diagnóstico x Imagen Radiología Dermatología Oftalmología Patología Endoscopia Ortopedia Ginecología
		PLR	5%			
VIDEOCONFERENCIA H.323	Audio Recomendación G.722	Jitter	<20 ms	BER	10exp-3	Diagnóstico Auditivo (Audio) Neumología Cardiología
		Latencia	0-150 ms 150-300 ms >300 ms			
	Video Recomendación H.263	Jitter	0-20 ms 20-50 ms >50 ms	BER	10exp-6	Diagnóstico por Audio y Video Teleconsulta Telediagnóstico Telesistencia Telemonitoreo Teleeducación
		Latencia	0-150 ms 150-300 ms >300 ms			
		PLR	5%			
		Correo Electrónico	Latencia			
CALIDAD	Parámetro Fijo	Buena	Aceptable	Inaceptable		

La Tabla VIII ha sido construida a partir de publicaciones y bibliografías como [Calyam, 2005], [ITU-T Rec. H. 263, 2005.], [Aguayo, 2004], [Hurtado, 2004], [Huang, 2004], [Cruz, 2001], [ITU-T Rec. H. 323, 2000.], [Bronzino, 2000], [ITU-T Rec.T.120, 1996.], [Tortora, 1994] y [ITU-T Rec. G. 722, 1988].

Capítulo V

V. Resultados y Análisis Numérico

V.1 Consideraciones de Simulación

Para lograr una interpretación pertinente de los resultados, se debe describir las consideraciones tomadas para lograr el escenario de simulación final. Las consideraciones generales son enumeradas a continuación:

1. Empleo del Protocolo de Internet (IP).
2. Sesiones H.323 para aplicaciones médicas en tiempo real.
3. Recomendación G.722 para audio.
4. Recomendación H.263 con codificación VBR para video.
5. Recomendación T.120 para transmisión de datos.
6. Empleo del Protocolo de Tiempo Real (RTP).
7. Uso del Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP) para transporte de información en tiempo real.

8. Protocolo de Control de Transmisión (TCP) para transportar el expediente médico.
9. Tres estaciones terrenas ubicadas en Tijuana y Ensenada, Baja California, así como en Cd. de México. La Tabla IX presenta las latitudes y longitudes de cada una de ellas.

Tabla IX. Latitudes y longitudes de estaciones terrenas involucradas.

Ubicación de la Estación Terrena	Latitud		Longitud	
Ensenada, BC.	31°52'	Norte	116°37'	Oeste
Tijuana, BC.	32°31'	Norte	117	Oeste
Cd. de México	19°03'	Norte	99°22'	Oeste

10. El enlace satelital se llevará a cabo empleando un satélite repetidor y dicho enlace tiene las características de la Tabla X. Las redes VSAT se abarcan ampliamente en [Everett, 1992], [Kota, 2004] y [Maral, 2003]. Por lo tanto, esta tesis solamente presenta aspectos importantes para el diseño de este tipo de redes aplicándolo a Telemedicina en el Anexo B.
11. Consideración del Producto Retardo – Ancho de Banda (PRAB, en adelante).

Tabla X. Consideraciones técnicas para el enlace satelital.

Banda de Frecuencia	C
Vel. de Transmisión	512 Kbps
Acceso al Medio	SCPC
BER	10^{-6}

12. Se propone considerar el porcentaje de paquetes que se encuentran en los intervalos de tiempo para latencia y jitter de la Tabla VIII y calificarlos como *BUENO*, *ACEPTABLE* o *POBRE*, con la finalidad de aportar una medida de calidad de servicio para los usuarios directos del servicio ofrecido.
13. Se utilizó el ambiente Network Simulator (NS-2) para las simulaciones de redes y del cual se presenta el anexo C para conocer su funcionamiento. Por otro lado, para graficar los resultados obtenidos se usó Matlab.

Los resultados presentados en este documento fueron obtenidos después de seguir una serie de etapas entre las cuales hay que puntualizar dos que involucran los puntos 4 y 11 de la lista anterior, y que se explican a continuación.

V.1.1 Análisis Comparativo entre H.263 a 256 kbps y VBR

El punto 4 hace mención a los dos tipos de velocidades de codificación que se utilizaron para el video, H.263 a 256 kbps y VBR. De acuerdo a la Figura 15 del Capítulo IV, se observa un mejor desempeño mediante una tasa de bit variable, ya que independientemente de la movilidad en el video, la codificación a 256 kbps es constante, y por lo tanto, en aquellos cuadros codificados donde no hay movilidad se están creando retardos innecesarios por codificación. En cambio, esta redundancia queda eliminada utilizando VBR, y la variación en la tasa de codificación se adapta a las necesidades requeridas por el video a codificar. Siguiendo con este punto, ambos formatos de video fueron ingresados al simulador y con los resultados obtenidos, principalmente para la latencia, se pudo comprobar lo que se ha mencionado en este párrafo. En la Tabla XI se hace una comparación para ambas velocidades de codificación, y se enfatiza el pobre desempeño de la codificación a 256 kbps ya que más del 50% de los paquetes se encuentran en el intervalo de *calidad POBRE*. Además se tomaron tamaños de paquete de 500, 1000 y 1500 bytes para videoconferencia y de esta manera se pudo conocer cuál de ellos presentaba un mejor rendimiento en la transmisión. Lo anterior debido a que originalmente se propuso un tamaño de paquete de 1500.

Tabla XI. Comparación entre videoconferencia con velocidades de codificación de 256 kbps y VBR para diferentes tamaños de paquete.

Tamaño de Paquete [Bytes]	Latencia		
	Buena [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
Video a 256 kbps			
500	0.0178	46.4908	53.4914
1000	0.0165	36.9464	63.0371
1500	0.0163	27.6844	72.2993
Video VBR			
500	0.0122	72.6940	27.2938
1000	0.0120	53.6285	46.3596
1500	0.0161	34.3833	65.6006

V.1.2 Análisis del Producto Retardo – Ancho de Banda

El apartado 11 de las consideraciones de simulación hace referencia al PRAB, el cual ha sido abarcado por [Cantú, 2005] y [Gu, 2003], donde el primero lo aborda en sistemas de comunicaciones que utilizan TCP y el último autor en UDP. El PRAB originalmente, de acuerdo a los autores anteriormente mencionados, relaciona el ancho de banda disponible del canal, AB, y el tiempo de vuelta completa del mismo, RTT, como se observa en la Ecuación 15.

$$PRAB = AB[b/s] \times RTT[s] \quad (15)$$

Sin embargo, se encontró que este factor varía inversamente proporcional al tamaño de paquete (MSS), como se muestra en la Ecuación 16, donde se obtiene el PRAB en cantidad de paquetes.

$$PRAB = \frac{AB[b/s] \times RTT[s]}{8 \times MSS[Bytes]} \quad (16)$$

El PRAB permite lidiar con la cantidad de información que se encuentra en tránsito a lo largo del enlace, lo que en comunicaciones satelitales puede ser un factor importante debido a que la distancia que recorre la información es elevada, esta es la razón por la que se aborda este tema.

La existencia de variación en los parámetros de calidad de servicio al considerar diferentes tamaños de paquete permitió observar su comportamiento variando el tamaño de éstos desde 500 hasta 1500 bytes. En consecuencia, se realizaron simulaciones en el escenario propuesto para videoconferencia y se analizaron los resultados obtenidos.

La Figura 19 muestra la evolución del tamaño de buffer resultante al variar el tamaño de paquete en la Ecuación 16, indicando que a menor tamaño de paquete el buffer en los nodos satelitales deberá ser capaz de contener una mayor cantidad de paquetes para no saturar la red y viceversa.

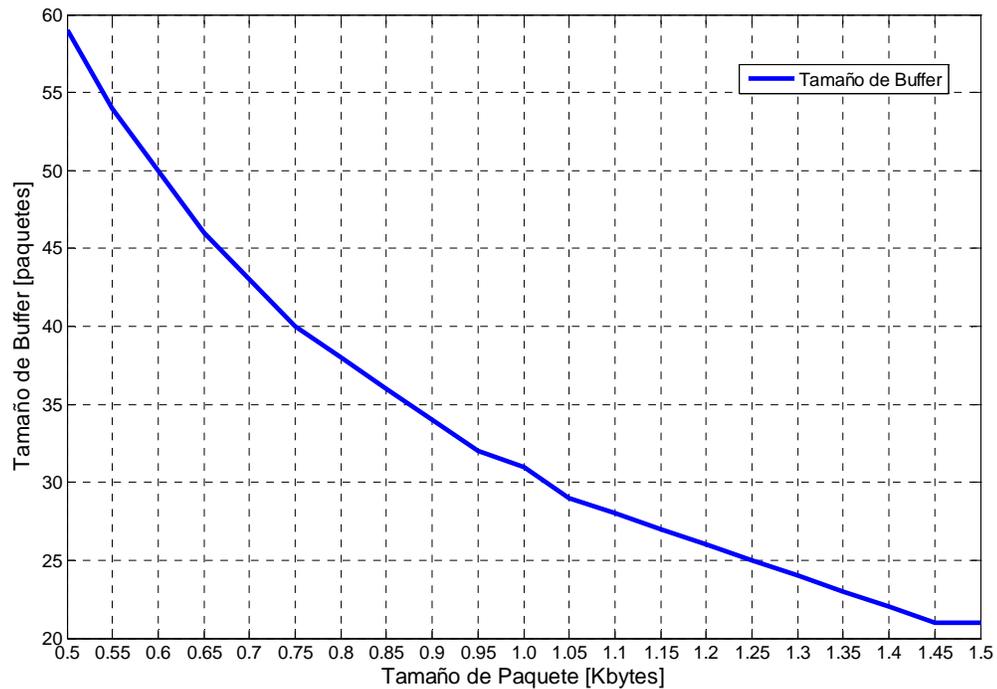


Figura 19. Evolución del tamaño de buffer de los nodos involucrados con respecto al tamaño de paquete.

Los resultados obtenidos para jitter en los enlaces Ensenada – Cd. México y Ensenada – Tijuana se comparan en la Figura 20. Se observa un comportamiento idéntico para todos los enlaces del *jitter* (*bueno*, *aceptable* y *pobre*,) y una congruencia evolutiva de *jitter bueno* con *aceptable*, ya que conforme el primero disminuye, el segundo aumenta. Por otro lado, el *jitter pobre* se mantiene en niveles bajos hasta los 1150 bytes, aumentando a partir de este tamaño su valor sin llegar a un caso crítico. Por medio de este tamaño de paquete se logra identificar un punto límite, evitando de esta manera exceder los valores límites de

jitter bueno y aceptable. Así mismo, se observa que los mejores resultados se dan a un tamaño de paquete de 500 bytes.

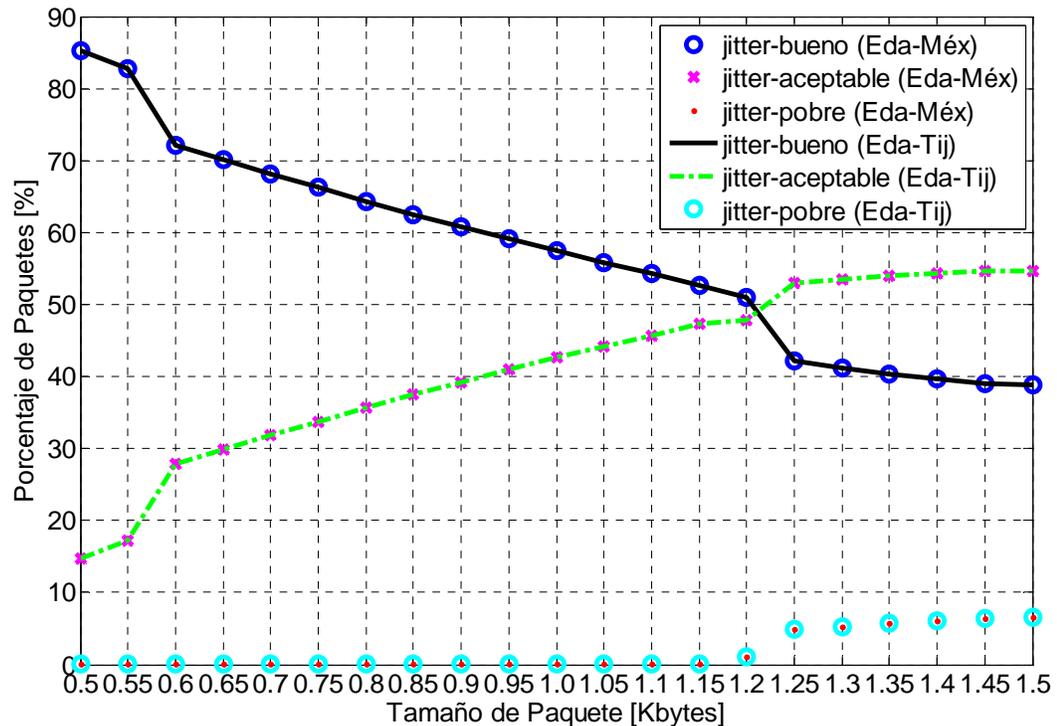


Figura 20. Comparación evolutiva del jitter entre los enlaces Ensenada – México y Ensenada – Tijuana variando el tamaño de paquete.

Siguiendo con este análisis, la Figura 21 presenta la latencia en ambos enlaces, observando un comportamiento similar con un desplazamiento respecto a la cantidad de paquetes con *calidad aceptable* y *pobre*. Esto se debe a que la latencia por propagación es mayor en el enlace Ensenada – Tijuana puesto que la distancia del satélite a Tijuana es mayor que su distancia hacia la Cd. de México. Así mismo, se observa que conforme aumenta el tamaño de paquete, la *latencia aceptable* disminuye y la *pobre* aumenta. Por lo tanto, identificamos un tamaño de

paquete de 1050 bytes como crítico, ya que se evita tener mayor porcentaje de paquetes en *calidad pobre* que en *aceptable*. Por otro lado, al igual que para el jitter se observa que el mejor desempeño se tiene al mismo tamaño de paquete, 500 bytes.

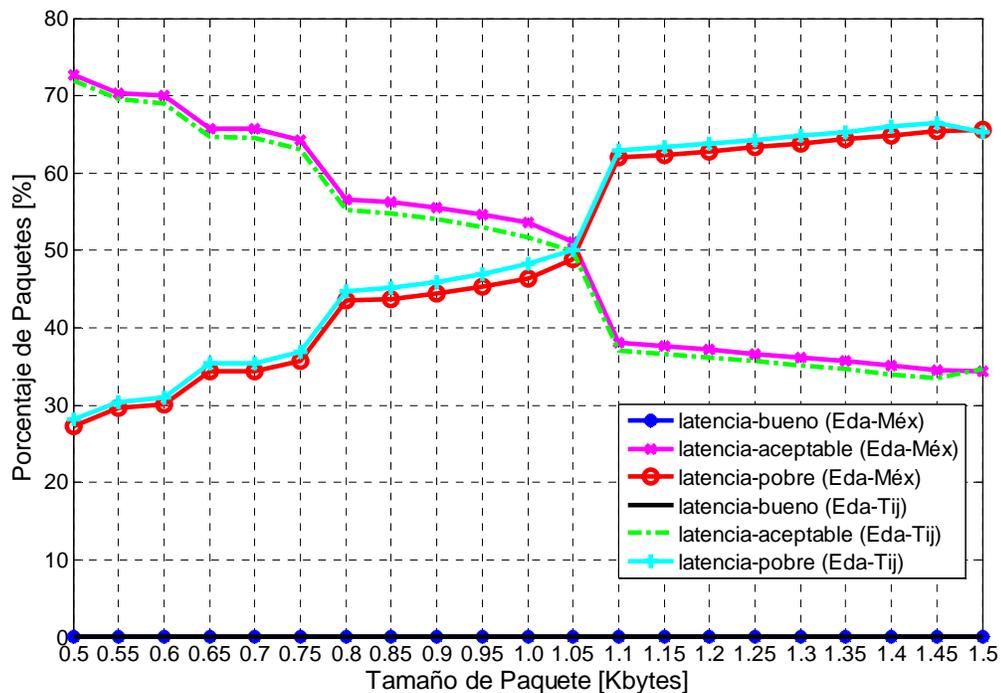


Figura 21. Comparación evolutiva de latencia entre los enlaces Ensenada – México y Ensenada – Tijuana con variación en el tamaño de paquete.

En la Figura 22 se presenta la tasa de pérdida de paquetes, donde se puede observar un comportamiento idéntico en ambos enlaces. Además, comparando con la evolución mostrada en la Figura 28 para el tamaño de buffer, se observa una dependencia directamente proporcional entre el PLR y dicho tamaño de buffer.

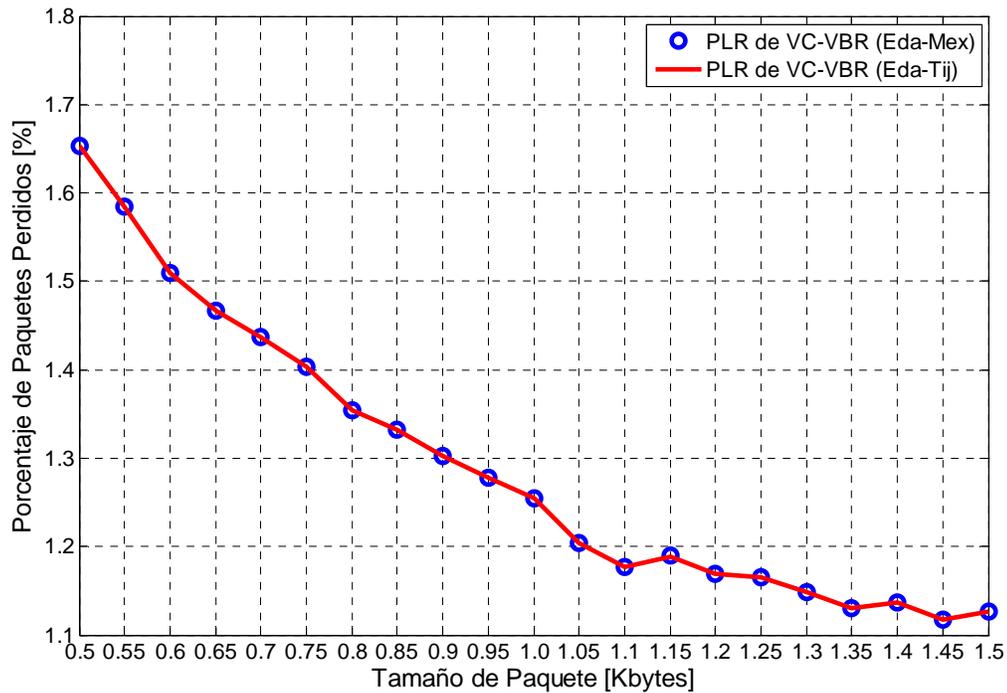


Figura 22. Comparación evolutiva del PLR entre los enlaces Ensenada – México y Ensenada – Tijuana variando el tamaño de paquete.

Por otro lado, contrariamente a los resultados obtenidos para jitter y latencia, el mejor desempeño se obtiene con un tamaño de paquete de 1500. Sin embargo, de acuerdo a la Tabla VIII del Capítulo IV, se tiene que el límite superior para el PLR en enlaces satelitales es del 5%, y por lo que aún con un tamaño de paquete de 500 bytes, el porcentaje obtenido es menor al requerido. De esta manera, se puede utilizar este tamaño de paquete sin problemas, considerando que el jitter y la latencia tienen mejor desempeño con paquetes de dicho tamaño.

Del análisis de las gráficas anteriores se concluye que el mejor tamaño de paquete para la transmisión de aplicaciones médicas es de 500 bytes. Por último,

se empleó en este trabajo un formato de paquetización como el que se muestra en la Figura 23. Es importante mencionar que este análisis ha sido realizado con anterioridad por [Cantú, 2005] con orientación hacia TCP y con la finalidad de atacar el fallo del descubrimiento de trayectoria de la máxima unidad de transferencia. Para UDP no se encontraron publicaciones donde definan cual es el tamaño ideal para aplicaciones en tiempo real considerando el PRAB.



Figura 23. Formato de Paquetización considerada.

De esta manera quedan establecidas las consideraciones de simulación para este trabajo de investigación, y enseguida se proseguirá con la presentación de los resultados para las diferentes aplicaciones médicas y el análisis de las mismas.

V.2 Resultados de Simulaciones

V.2.1 Resultados para Telediagnóstico, Teleasistencia y Teleconsulta

El Telediagnóstico, la Teleasistencia y la Teleconsulta pueden ser transmitidas a través de Videoconferencia, y es la finalidad de este trabajo demostrar la factibilidad de poder realizar dicha operación garantizando una calidad de servicio para el usuario.

V.2.1.1 Latencia

La Figura 24 muestra la función de distribución de paquetes en función de los valores de latencia. Se puede observar que dicha distribución de paquetes en el enlace Ensenada – México tiene una concentración mayor de paquetes en el nivel de *calidad aceptable* que en el enlace Ensenada – Tijuana, debido a que el retardo por propagación en este último es mayor. En consecuencia, tenemos que la cantidad de paquetes en el nivel de *calidad pobre* también aumenta.

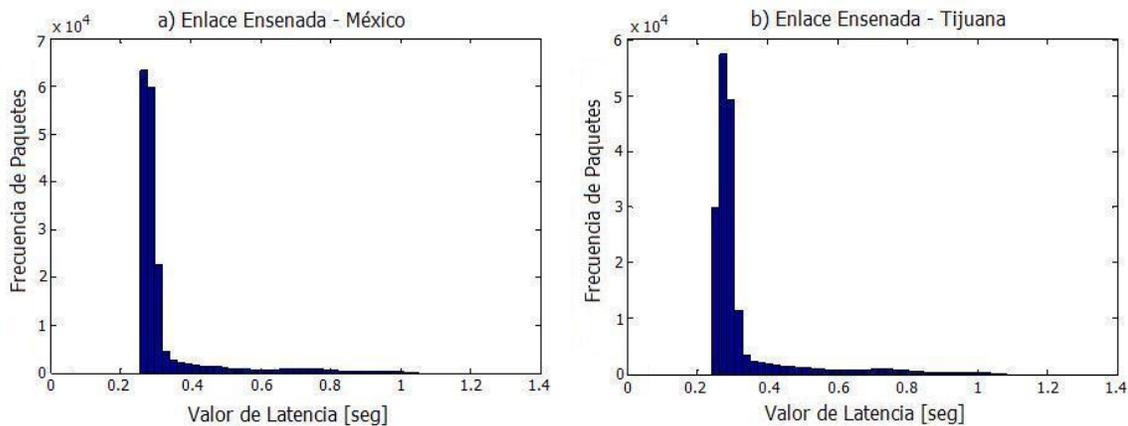


Figura 24. Frecuencia relativa de paquetes en función de la latencia a) enlace Ensenada-México, b) enlace Ensenada-Tijuana.

Por otro lado, se observa que ningún paquete se encuentra en el intervalo de *calidad buena*, debido a que los retardos por propagación para ambos enlaces son 246.1 y 247.5 ms, respectivamente, y estos valores exceden el intervalo de *calidad buena*, entre 0 y 0.150 s, de acuerdo a la Tabla VIII del Capítulo IV.

Para complementar esta información se presenta la Tabla XII con los valores correspondientes a la distribución de paquetes en los intervalos de calidad propuestos para ambos enlaces, y se puede corroborar lo que se ha dicho en párrafos anteriores con respecto a la variación en la latencia aceptable de un enlace a otro.

Tabla XII. Porcentaje de paquetes con respecto a la latencia en cada rango de calidad propuesto para ambos enlaces considerados.

Latencia					
Enlace Ensenada - México			Enlace Ensenada - Tijuana		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
0.00	72.69	27.29	0.00	71.87	28.10

V.2.1.2 Jitter

Figura 25 presenta los resultados del jitter en videoconferencia para ambos enlaces propuestos, mostrando la función de distribución de paquetes para valores de jitter.

Los porcentajes de paquetes en cada intervalo considerado en este trabajo para cada enlace se muestran en la Tabla XIII, la cual se presenta como apoyo para el análisis correspondiente. Se observa que varían 0.01 % aproximadamente entre un enlace y otro. Por otro lado, la mayor concentración de paquetes se encuentra en el área de *calidad buena*, entre 0 y 0.020 s. Esto se debe a la

consideración del PRAB, el cual proporciona el tamaño de buffer idóneo para los nodos involucrados en el enlace, y el empleo de sincronización, como se mencionó en el punto 10 de las consideraciones de simulación. De este análisis se puede inferir que el jitter no será un factor de degradación en la transmisión de aplicaciones médicas a través de videoconferencia.

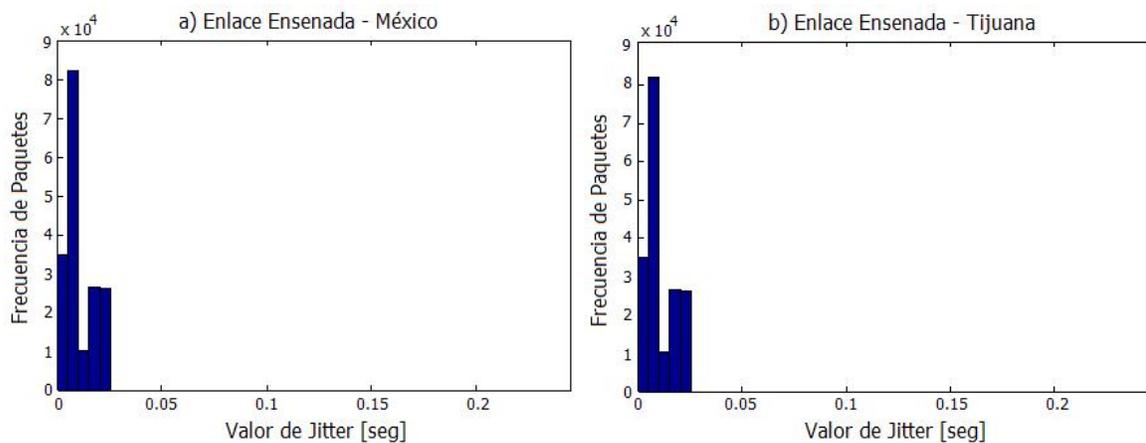


Figura 25. Frecuencia relativa de paquetes en función del jitter a) enlace Ensenada-México, b) enlace Ensenada-Tijuana.

Tabla XIII. Porcentaje de paquetes con respecto al jitter en cada nivel de calidad propuesto para ambos enlaces considerados.

Jitter					
Enlace Ensenada - México			Enlace Ensenada - Tijuana		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
85.20	14.79	5.54E-04	85.19	14.80	5.54E-04

Es importante destacar que en este trabajo se está considerando la cantidad de paquetes que se ubican en los diferentes intervalos propuestos. En el caso del jitter que se está simulando, se hace referencia a la diferencia de tiempo con que llega cada paquete no el identificador de secuencia de éste. Por lo tanto, el jitter se mantendrá siempre en una *calidad buena* ya que más del 99% de los paquetes llegan entre los niveles de *calidad buena* y *aceptable*, 85% y 14%, respectivamente.

V.2.1.3 Tasa de Pérdida de Paquetes

La consideración tomada de un $BER = 10^{-6}$, tienen un efecto directo sobre la tasa de pérdida de paquetes, puesto que el valor del BER implica que existirá un error por cada millón de bits enviados. Con dichos valores se garantiza, de acuerdo a [Pierucci, 2000], que no existan grandes pérdidas en el enlace satelital. La Tabla XIV muestra los valores obtenidos en porcentaje para cada enlace.

Tabla XIV. Porcentaje de pérdida de paquetes para ambos enlaces considerados.

Tasa de Pérdida de Paquetes			
Enlace Ensenada - México		Enlace Ensenada - Tijuana	
1.65 %		1.65 %	
Enlace Terrestre	Enlace Satelital	Enlace Terrestre	Enlace Satelital
1.58 %	0.077 %	1.58 %	0.077 %

Como se puede observar en la Tabla XIV, el enlace satelital produce una mínima pérdida de paquetes gracias a las consideraciones tomadas. La mayor tasa de pérdida de paquetes se produce en el nodo transmisor debido al cambio de medio de transmisión, lo cual genera un retardo que no puede ser tolerado por el buffer de este nodo y se desborda. Aunque la pérdida de paquetes no es elevada, se puede mejorar si se coloca un buffer que contenga una mayor cantidad de paquetes. En este caso se está empleando un buffer de 20 paquetes.

V.2.1.4 Caudal Eficaz

Se presenta el análisis del caudal eficaz para ofrecer resultados más contundentes de las aplicaciones médicas en cuestión. La Tabla XV ofrece los respectivos resultados de ambos enlaces.

Tabla XV. Caudal eficaz en ambos enlaces considerados.

Caudal Eficaz	
Enlace Ensenada - México	Enlace Ensenada - Tijuana
98.36 %	98.36 %

El caudal eficaz, expresado en porcentaje, ofrece información acerca de la eficiencia del canal para entregar la información. Como puede observarse en la Tabla XV, ambos canales tienen la misma eficiencia debido a la vinculación directa

con la tasa de pérdida de paquetes. Si ésta última es idéntica, el caudal eficaz lo será también.

Después de revisar los resultados correspondientes a la videoconferencia, se identifica que el parámetro que más impacta a la Teleconsulta, la Teleasistencia y el Telediagnóstico es la latencia. Aunque la tasa de pérdida de paquetes es elevada no traspasa el límite del 5%, por lo tanto se puede sopesar esta pérdida de paquetes. Así mismo, la calidad puede ser calificada en conjunto como *acceptable*.

V.2.2 Resultados para Telemonitoreo

El Telemonitoreo involucra la transmisión de señales biomédicas en tiempo real, por lo que puede ser realizado a través de sesiones H.323 empleando un canal de voz, como se comprobó en el Capítulo IV. Es importante hacer énfasis en que el objetivo principal de este trabajo de investigación no es el análisis de esta aplicación médica, aunque se tuvo que comprobar la factibilidad de realizar este tipo de transmisiones. La Tabla XVI presenta los resultados para jitter, latencia, PLR y caudal eficaz de la señal biomédica para enlaces de Ensenada – México y Ensenada – Tijuana, donde se observa que el jitter se encuentra en el intervalo de *calidad buena* y la latencia en *calidad acceptable*, no se tienen pérdidas de paquetes y por lo tanto el caudal eficaz es del 100%. La latencia en dicho intervalo

de calidad, una vez más, es consecuencia del elevado retardo por propagación existente en enlaces con satélites geoestacionarios.

Tabla XVI. Resultados numéricos obtenidos para jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para una señal biomédica.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
99.99	0.01	0.00	0.00	99.99	0.01
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0 %			100 %		
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
99.96	0.04	0.00	0.00	99.94	0.06
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0 %			100 %		

Los resultados obtenidos para esta aplicación médica validan los resultados obtenidos por [Cone, 2004].

V.2.3 Resultados para Expediente Médico

Es importante mostrar los resultados del análisis de esta aplicación en este trabajo de investigación ya que permiten conocer la factibilidad de la transmisión del Expediente Médico.

La Tabla XVII presenta los resultados obtenidos para jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para el Expediente Médico. Como se mencionó en el Capítulo IV y de

acuerdo a la Tabla VIII del mismo capítulo, definimos a la tasa de pérdida de paquetes y la tasa de errores de bit como los parámetros de QoS que más afectan a la transmisión del Expediente Médico. De acuerdo a lo anterior, los resultados de la Tabla XVII muestran la inexistencia de pérdida de paquetes y en consecuencia, el caudal eficaz es del 100%, por lo que la transmisión de esta aplicación es factible y con *buena calidad*. Hay que recordar que el BER es un valor fijo pero que impacta directamente en el PLR y el caudal eficaz.

Tabla XVII. Valores resultantes de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para el Expediente Médico.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
99.98	0.016	0.002	0.00	99.87	0.125
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0 %			100 %		
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
99.97	0.020	0.003	0.00	99.84	0.153
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0 %			100 %		

Para la transmisión del Expediente Médico no se requiere rapidez en la transmisión, sino certeza en la recepción de la información completa, por lo que la latencia queda en segundo plano. En el caso del jitter, se observa que 99.98% de los paquetes arriban entre 0 y 0.020 s, aunque este valor solo hace referencia a

cómo llegan éstos al nodo receptor. A pesar de esto tenemos la certeza de que todos llegan con *buena calidad*.

Todos los resultados presentados en esta sección conducen a comprobar los estudios prácticos reportados por [Cabanillas, 2005] quien concluyó que la transmisión del Expediente Médico era factible a través de sistemas de comunicación satelital. Por lo tanto, tenemos la certeza de estar ingresando la aplicación correctamente en el simulador, con la finalidad de emplearlo en combinación con las otras aplicaciones médicas tratadas en este trabajo.

Una vez presentado y analizado, los resultados obtenidos por separado para Teleconsulta, Telediagnóstico, Teleasistencia, Telemonitoreo y Expediente Médico, se prosigue con el análisis de resultados entre aplicaciones médicas obtenidos con diferentes combinaciones.

V.2.4 Resultados para Videoconferencia y Señal Biomédica

Los resultados obtenidos se presentan en las Figuras 26 y 27, las cuales corresponden al enlace Ensenada – México, ya que la variación con respecto al enlace Ensenada – Tijuana se percibe mejor en las Tablas XVIII y XIX. El análisis gráfico y numérico determina que el flujo de la señal biomédica presenta una mayor degradación, tanto para jitter como para latencia, pero tiene un comportamiento más estable ya que ambos parámetros tienen valores porcentuales similares en ambos enlaces. Por otro lado, la videoconferencia se

degrada en mayor porcentaje en la latencia, donde solo se tiene 67% (enlace Ensenada – México) y 65% (enlace Ensenada – Tijuana) de paquetes en *calidad aceptable*, y el resto está en *calidad pobre*.

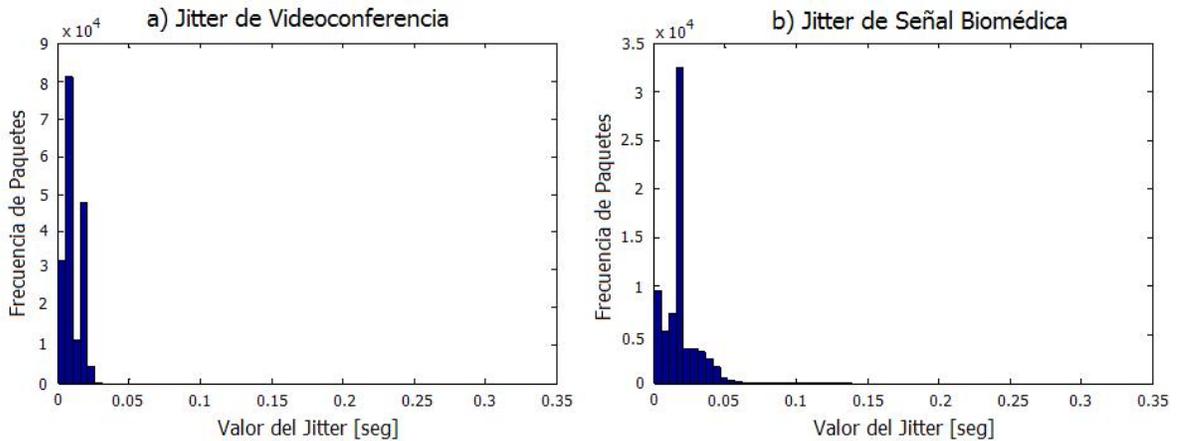


Figura 26. Comparación de resultados para la combinación de videoconferencia y señal biomédica a) jitter de videoconferencia, b) jitter de señal biomédica.

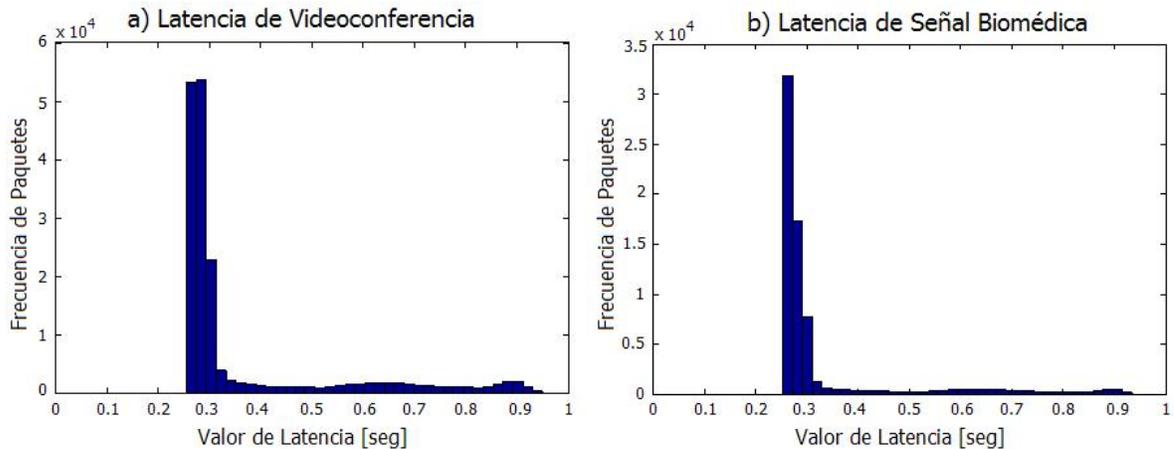


Figura 27. Comparación de resultados para la combinación de videoconferencia y señal biomédica a) latencia de videoconferencia, b) latencia de señal biomédica.

Las Tablas XVIII y XIX también presentan los valores obtenidos para PLR y caudal eficaz. Se encontró que la videoconferencia obtuvo pérdidas del 2.20% y la señal biomédica del 0.44%, en ambos enlaces, aunque ninguna de ellas excede el límite permitido de 5% para sistemas de comunicación satelital. Los valores correspondientes al caudal eficaz fueron 97.79% para videoconferencia y 99.55% para la señal biomédica en ambos enlaces.

Tabla XVIII. Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para videoconferencia considerando la señal biomédica como tráfico de fondo.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
97.44	2.55	5.63E-04	0.00	67.31	32.67
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
2.2019 %			97.7981 %		
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
97.44	2.55	5.63E-04	0.00	65.96	34.02
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
2.20 %			97.79 %		

Tabla XIX. Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para la señal biomédica considerando la videoconferencia como tráfico de fondo.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
76.527	21.9477	1.5253	0.00	76.6006	23.3853
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0.4469 %			99.5531 %		
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
76.527	21.9477	1.525	0.00	75.2483	24.737
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0.4469 %			99.5531 %		

Al realizar el análisis de las figuras y tablas de los diferentes parámetros de QoS considerados se puede identificar el compromiso existente entre las aplicaciones al ser transmitidas simultáneamente. Debido a que en las dos aplicaciones se observa una degradación, se debe definir cuál de ellas tendrá mayor prioridad: se puede ofrecer videoconferencia aceptable sin transmisión de señal biomédica, o que la señal biomédica tenga mayor prioridad y prescindir de la videoconferencia, ofreciéndola con una menor calidad a la que se obtiene al ser transmitida sola ésta última.

V.2.5 Resultados para Videoconferencia y Expediente Médico

En esta combinación de aplicaciones médicas el Expediente Médico funciona como tráfico de fondo y por lo tanto, la videoconferencia es la aplicación que se analiza. La Figura 28 presenta los resultados obtenidos para el jitter y latencia de la videoconferencia en el enlace Ensenada – México y se complementan los resultados con la Tabla XX, debido a que la variación de la latencia en el enlace Ensenada – Tijuana puede observarse mejor al analizar los valores numéricos. De la gráfica de la latencia se visualiza una degradación sustancial de dicho parámetro, ya que existe una densidad mayor de paquetes en el intervalo de *calidad pobre*, lo que se puede corroborar con los valores presentados en la Tabla XX.

La degradación más importante que se presenta al combinar estas dos aplicaciones, se debe al funcionamiento de TCP, el cual tiende a ocupar todo el ancho de banda disponible, retardando el flujo de videoconferencia. Además el ancho de banda de este sistema de comunicación satelital es reducido (512 kbps). En la actualidad, existe una gran variedad de algoritmos para el protocolo de control de transferencia, por lo que no se debe descartar la posibilidad de lograr esta combinación tras la correcta selección de alguna versión de este protocolo.

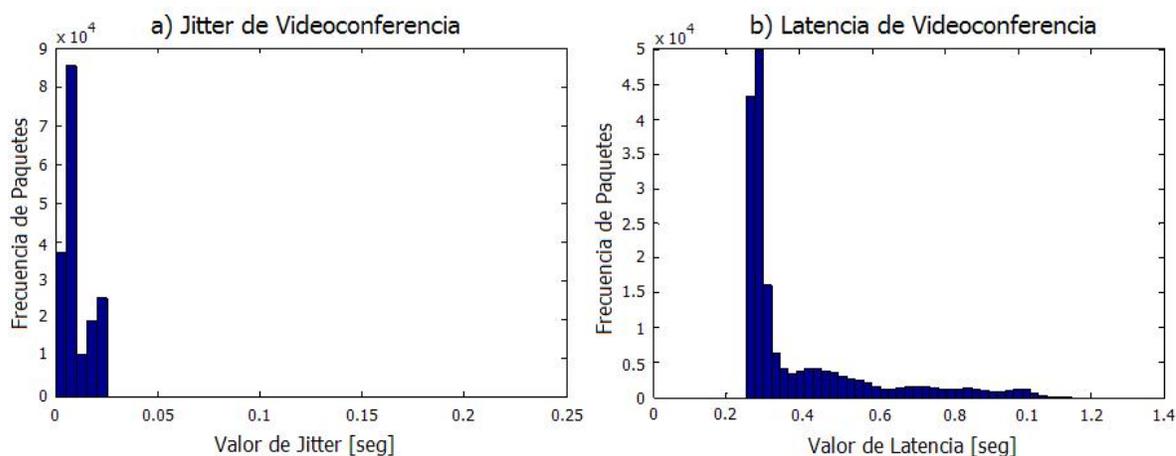


Figura 28. Resultados de la combinación videoconferencia y expediente médico a) jitter de videoconferencia, b) latencia de videoconferencia.

Tabla XX. Resultados de jitter y latencia para videoconferencia considerando el expediente médico como tráfico de fondo.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
85.65	14.33	0.00	0.00	52.20	47.78
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
85.68	14.30	0.00	0.00	51.31	48.67

Asimismo, se obtuvieron valores para el PLR y el caudal eficaz, los cuales se presentan en la Tabla XXI. Se encontró un porcentaje elevado para la pérdida de paquetes en ambos enlaces pero no rebasan el 5% permitido para este parámetro. Por otro lado, por la interrelación existente del PLR con el caudal eficaz, este último es bastante prometedor, encontrándose en valores por encima del 97%.

Tabla XXI. Resultados de PLR y caudal eficaz para videoconferencia considerando el expediente médico como tráfico de fondo.

Tasa de Pérdida de Paquetes	
Enlace Ensenada – México	Enlace Ensenada – Tijuana
2.50 %	2.33 %
Caudal Eficaz	
Enlace Ensenada - México	Enlace Ensenada - Tijuana
97.49 %	97.66 %

A pesar de obtener buenos resultados para algunos de los parámetros de QoS considerados, en conjunto podemos decir esta combinación no promete mucho ya que casi el 50% de los paquetes serán de calidad pobre, por lo que el médico estará recibiendo información incompleta y para los fines buscados es completamente inaceptable.

V.2.6 Resultados para Señal Biomédica y Expediente Médico

Primeramente, para el análisis de esta combinación de aplicaciones médicas se considera la Señal Biomédica como aplicación principal y el Expediente Médico como tráfico de fondo.

Para exponer estos resultados se presenta la Figura 29, donde se muestran los resultados del enlace Ensenada – México, esto debido a que las diferencias de los valores de los parámetros de QoS entre enlaces se identifican mejor con ayuda de la Tabla XXII, que ofrece los valores numéricos completos para su análisis.

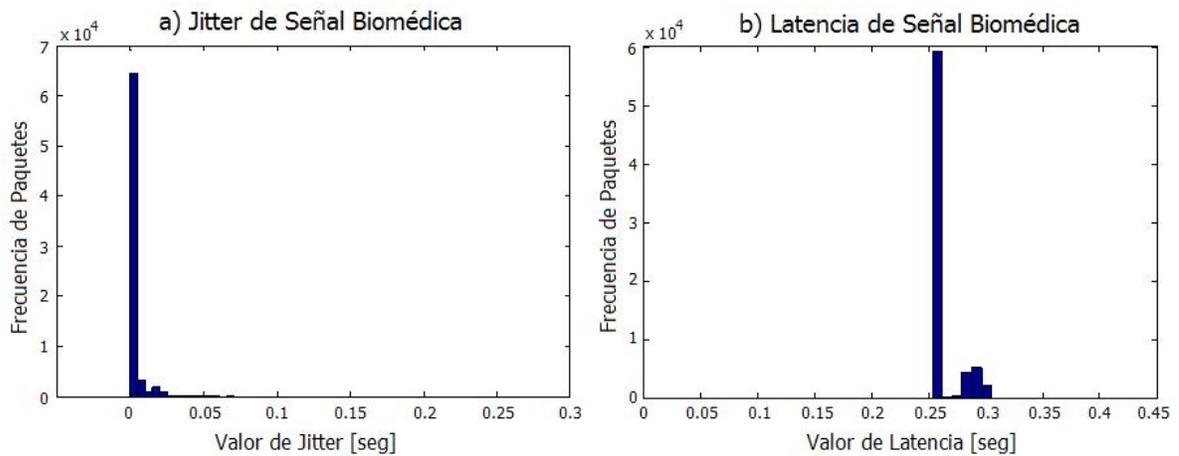


Figura 29. Resultados de la combinación señal biomédica y expediente médico a) jitter de señal biomédica, b) latencia de señal biomédica.

Tabla XXII. Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz para señal biomédica considerando el expediente médico como tráfico de fondo.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
97.84	2.15	0.005	0.00	99.92	0.05
Tasa de Pérdidas de Paquetes			Caudal Eficaz		
0.01 %			99.98 %		
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
97.92	2.07	0.007	0.00	98.91	1.07
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
0.01 %			99.98 %		

Se obtienen valores para la señal biomédica ubicados en el intervalo de *calidad buena* para jitter y *calidad aceptable* para latencia, además de una pérdida de paquetes de 0.01% y un canal de comunicación muy eficiente, del 99.98, por lo

que se puede inferir que la comunicación simultánea de estas dos aplicaciones médicas es posible manteniendo una *calidad aceptable*.

V.2.7 Resultados para Videoconferencia, Señal Biomédica y Expediente Médico

Para esta combinación de aplicaciones médicas se analiza el desempeño de la Videoconferencia con la Señal Biomédica y el Expediente Médico como tráfico de fondo. Los resultados se muestran en la Figura 30 con apoyo de la Tabla XXIII, donde se presenta información de la latencia obtenida para el enlace Ensenada – México y los valores correspondientes a jitter, latencia, PLR y caudal eficaz.

En la misma Figura 30 se observa que la degradación que sufre la videoconferencia en el parámetro de la latencia es considerable, puesto que el 60% de los paquetes tienen mayor ocurrencia en el intervalo de calidad pobre (ver Tabla XXIII): Independientemente de tener los demás parámetros de QoS en intervalos de *calidad aceptable* o *buena*, es irrelevante su consideración debido a que la latencia lleva a toda la aplicación a calidad inaceptable. De esta manera se comprueba la imposibilidad de realizar simultáneamente la transmisión de las tres aplicaciones en el escenario propuesto.

Con lo anterior, es innecesario presentar resultados para el análisis de la Señal Biomédica bajo estas mismas condiciones. Además, analizar el enlace Ensenada – Tijuana tampoco ofrecería mejoras ya que como se revisó

anteriormente en este capítulo, el retardo por propagación aumenta en dicho enlace, por lo que el porcentaje de paquetes en *calidad pobre* será mayor.

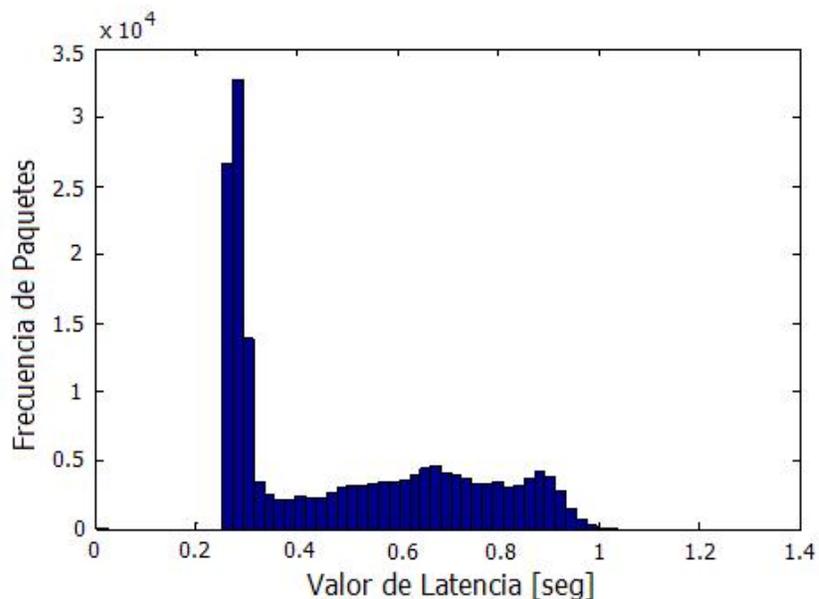


Figura 30. Resultado de la latencia para videoconferencia considerando la señal biomédica y el expediente médico como tráfico de fondo.

Tabla XXIII. Resultados de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz videoconferencia considerando la señal biomédica y el expediente médico como tráfico de fondo.

Enlace Ensenada – México					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
97.84	2.13	0.02	0.00	38.16	61.82
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
3.32 %			96.67 %		
Enlace Ensenada - Tijuana					
Jitter			Latencia		
Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]	Bueno [%]	Aceptable [%]	Pobre [%]
97.8542	2.12	0.0183	0.00	38.03	61.95
Tasa de Pérdida de Paquetes			Caudal Eficaz		
3.29 %			96.70 %		

Con la sección V.2.7 se concluye este capítulo y a continuación se ofrecen las conclusiones y trabajo futuro de esta investigación.

Capítulo VI

VI. Conclusiones y Trabajo Futuro

En concordancia con el planteamiento del problema, los objetivos fundados y las metas establecidas, la finalidad de este capítulo es presentar las conclusiones a las cuales se llegó después de haber realizado el análisis correspondiente de los resultados presentados en el Capítulo V. Asimismo, al finalizar el capítulo se propone el trabajo futuro a realizar como consecuencia de este trabajo de investigación.

VI.1 Conclusiones sobre Telemedicina

VI.1.1 Sobre los Sistemas de Telemedicina en General

En esta tesis se ha expresado la existencia de sistemas de Telemedicina principalmente en clínicas de salud privadas. La originalidad de este trabajo de investigación se fundamenta en el uso de un sistema de Telemedicina propuesto para la atención a derechohabientes de servicios de salud pública. A continuación

se presentan las principales conclusiones a las que se llegaron con respecto a este tipo de sistemas:

- Se identificó que el empleo de sistemas de comunicaciones satelitales tipo VSAT como una alternativa viable para el ofrecimiento de servicios de salud a distancia, en conjunto con el uso de hardware y software, permite ofrecer sistemas de Telemedicina con calidad de servicio.
- Se continuó el camino a la estandarización para los sistemas de Telemedicina con la aportación de valores de los parámetros de calidad de servicio que más afectan la transmisión de información médica, con la finalidad de tener los fundamentos necesarios para la creación de un sistema de Telemedicina reproducible, perdurable y autofinanciable aplicado a la salud pública.

VI.1.2 Sobre la Calidad de Servicio

La búsqueda de sistemas de Telemedicina con calidad de servicio formó parte de la motivación de este trabajo de investigación, y fue a través de la simulación de los parámetros de calidad de servicio que se obtuvieron los resultados. En los siguientes apartados se exponen las conclusiones obtenidas con respecto a la calidad de servicio:

- Se propuso evaluar el desempeño del sistema a través de los parámetros de calidad de servicio de acuerdo al porcentaje de paquetes existentes en

ciertos intervalos, ya que a mayor cantidad de paquetes en uno de ellos aumenta la calidad de la aplicación. Los intervalos considerados solo han sido empleados por [Calyam, 2005] y fue sobre enlaces terrestres.

- Se modelaron matemáticamente los parámetros de calidad a considerar de acuerdo a los objetivos de esta tesis, los cuales fueron: i) jitter, ii) latencia, iii) tasa de pérdida de paquetes, iv) tasa de bits erróneos, y v) caudal eficaz, y se obtuvieron las expresiones matemáticas que permitieron la realización del simulador de acuerdo al escenario propuesto.
- Se identificó al jitter y la latencia como los parámetros de calidad de servicio que son intolerantes a las aplicaciones médicas en tiempo real, debido a la sincronía que debe existir en cada una de las aplicaciones. De igual forma se identificó al BER y PLR como aquellos parámetros intolerantes a la transmisión de datos, ya que es más importante recibir la información completa que el tiempo que tarde en ser transmitida.
- Se encontró que la latencia es el parámetro más sensible para las aplicaciones en tiempo real, sobre enlaces satelitales, debido: 1) al retardo por transmisión, y 2) al retardo por propagación. El primero es debido al cambio de interfaz de comunicación y tiene relación con la pérdida de paquetes, ya si el retardo generado a los paquetes por el módem transmisor excede el tamaño de buffer, éstos serán descartados. El segundo es debido a la distancia existente entre las estaciones terrenas y el satélite repetidor,

la cual es alrededor de 36,000 kilómetros para satélites geoestacionarios. Esta distancia genera retardos por propagación de 246.12 ms para el enlace Ensenada – México y 247.50 ms en el enlace Ensenada – Tijuana. Por consiguiente este retardo elimina la posibilidad de la existencia de paquetes ubicados en el intervalo de *calidad buena*.

VI.1.3 Sobre el Sistema de Comunicación

Se mencionaron en esta tesis algunas de las ventajas que los sistemas de comunicación satelital tipo VSAT ofrecen para la transmisión de información. Después de haber realizado las simulaciones correspondientes en este tipo de sistemas, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se propuso el empleo de sistemas VSAT debido a la cobertura amplia que ofrecen, y en conjunto con el empleo adecuado de buffers en la red satelital y el nodo transmisor, permiten la entrega de servicios de salud con *calidad aceptable* a nivel Nacional.
- Se identificó un problema en la configuración del enlace en la etapa terrestre, ya que el sistema utilizado como modelo tiene una interfaz de comunicación V.35, la cual permite transmitir a tasas desde 64 Kbps hasta 2 Mbps. En un inicio se configuró el escenario a 2 Mbps lo que provocó una tasa de pérdida de paquetes de 6% para videoconferencia, por encima del valor límite permisible de 5%. Por esta razón, se homogeneizó el sistema

con respecto a la tasa ofrecida por el enlace satelital de 512 Kbps y se obtuvo, para la misma aplicación, una pérdida de paquetes de 1.665%, valor que se encuentra por debajo del límite de 5%.

- Se identificó el Producto Retardo – Ancho de Banda como un factor importante para la disminución de la cantidad de información existente en el canal de comunicación, obteniéndose que el mejor tamaño de paquete para las aplicaciones en tiempo real es de 500 bytes más el encabezado de IP. Si se deseara utilizar un tamaño de paquete menor, se necesitaría un buffer para una mayor cantidad de paquetes, lo que repercute principalmente en el costo de la red a implementar, además no se recomienda un tamaño de paquete menor ya que el sobre-encabezado tiende a aumentar por lo que llegará el momento en que éste se mayor que la carga útil y eso no se desea en ningún sistema de comunicación.

VI.1.4 Sobre las Aplicaciones Médicas

Se mencionaron la Teleconsulta, el Telediagnóstico, la Teleasistencia, el Telemonitoreo y el Expediente Médico como las aplicaciones médicas involucradas en este trabajo de investigación. Las tres primeras requieren de sesiones de videoconferencia; la cuarta, solo necesita un canal de voz, y la última requiere el envío de datos por FTP. Aunque el objetivo principal de este trabajo de investigación fue el análisis de videoconferencia como aplicación médica, se

obtuvieron resultados para diferentes combinaciones de aplicaciones. Es importante señalar que el nivel de calidad concluido en cada apartado de esta sección, está basado en el mínimo nivel de calidad después de considerar el conjunto de valores obtenidos de jitter, latencia, PLR y caudal eficaz. Las conclusiones principales acerca de este tema se presentan a continuación:

- Es factible la transmisión de videoconferencia a través de VSATs y *garantiza calidad aceptable* (para ambos enlaces), debido a que el parámetro con mayor degradación fue la latencia de paquetes con un 72.69% (Ensenada – México) y 71.87% (Ensenada – Tijuana) en el intervalo aceptable de acuerdo a la Tabla VIII.
- Para el uso de Telemonitoreo se *garantiza calidad aceptable* (para ambos enlaces), debido a la casi nula degradación existente en la latencia, ya que se obtuvieron 99.99% (Ensenada – México) y 99.94% (Ensenada – Tijuana) de paquetes en este intervalo de acuerdo a la Tabla VIII. Lo anterior valida los resultados para Telemonitoreo que describe [Cone, 2004].
- La transmisión del Expediente Médico fue demostrada prácticamente por [Cabanillas, 2005]. Este trabajo de tesis ahora demostró que es factible *garantizar calidad aceptable* (para ambos enlaces), puesto que la mayor degradación se dio en la latencia de paquetes con 99.87% (Ensenada –

México) y 99.84% (Ensenada – Tijuana) en dicho intervalo de acuerdo a la Tabla VIII.

- En el caso de la combinación de Videoconferencia con una Señal Biomédica, considerando esta última como tráfico de fondo, se *garantiza calidad aceptable* (para ambos enlaces), debido a que la latencia es el parámetro de mayor degradación con 67.31% (Ensenada – México) y 65.96% (Ensenada – Tijuana) de paquetes en el intervalo aceptable de acuerdo a la Tabla VIII.

Además, se analizó el comportamiento de la Señal Biomédica y se encontró que *garantiza calidad aceptable* (para ambos enlaces), debido a la degradación que sufre la latencia de paquetes con 76.6% (Ensenada – México) y 75.24% (Ensenada – Tijuana) en dicho intervalo de acuerdo a la Tabla VIII.

Por último, se observa en las Tablas XVIII y XIX la existencia de paquetes en el intervalo inaceptable de acuerdo a la Tabla VIII. Estos paquetes con retardo excesivo son debido a que las aplicaciones viajan simultáneamente, saturando rápidamente el canal de comunicación. Si se desea emplear esta combinación, se recomienda darle prioridad a alguna de las aplicaciones involucradas para no entregar a los médicos ambas aplicaciones degradadas.

- En la combinación de Videoconferencia con Expediente Médico se consideró éste último como tráfico de fondo. Analizando la Videoconferencia se encontró que la *calidad garantizada es inaceptable*, debido a la degradación excesiva de la latencia de paquetes en ambos enlaces con 52.2% (Ensenada – México) y 51.31% (Ensenada – Tijuana) en el intervalo aceptable de acuerdo a la Tabla VIII. El resto de los paquetes están distribuidos en el intervalo inaceptable conforme a la Tabla VIII y es debido a la naturaleza del algoritmo de TCP, el cual intenta ocupar la mayor cantidad de ancho de banda. Lo anterior provoca una saturación en el canal de comunicación.
- En la combinación Señal Biomédica y Expediente Médico, empleando al último como tráfico de fondo, se encontró que se *garantiza calidad aceptable* (para ambos enlaces) al analizar la señal biomédica. Lo anterior se basa en la degradación por la latencia de paquetes con 99.92% (Ensenada – México) y 98.91% (Ensenada – Tijuana) en ese intervalo de acuerdo a la Tabla VIII. Lo concluido en este párrafo fortalece la información proporcionada por [Cone, 2004], donde se demostró que es factible la transmisión de esta combinación.
- Para la combinación Videoconferencia, Señal Biomédica y Expediente Médico, se emplearon los dos últimos como tráfico de fondo y se analizó la Videoconferencia. Se comprueba una *calidad inaceptable* para ambos

enlaces debido a la degradación excesiva en la latencia de paquetes con 38.16% en el intervalo aceptable y 61.82% en el intervalo inaceptable de acuerdo a la Tabla VIII, para el enlace Ensenada – México. Puesto que el enlace Ensenada – Tijuana tiene un retardo por propagación mayor, la degradación sufrida es proporcional.

- Se destaca que en todas las combinaciones de aplicaciones posibles la tasa de pérdida de paquetes y el caudal eficaz nunca excedieron los valores límite permitido, debido a la consideración del PRAB y la homogeneización del escenario propuesto.
- De acuerdo a las conclusiones presentadas en esta sección de aplicaciones médicas, se recomienda emplear las combinaciones presentadas de acuerdo las necesidades. Por ejemplo, si se requiere transmitir las tres aplicaciones se puede usar el canal satelital para enviar la Señal Biomédica y el Expediente Médico, mientras que la videoconferencia puede ser transmitida por otro canal de comunicación para obtener los mejores resultados.

VI.2 Contribuciones

Este trabajo de investigación aborda un tema de actualidad y en consecuencia se presentan las siguientes aportaciones realizadas:

- De acuerdo a los valores obtenidos en las simulaciones se comprobó la factibilidad de entregar servicios de salud por satélite con Calidad Aceptable

en la mayoría de ellos: videoconferencia, señal biomédica, expediente médico y la combinación de los dos primeros, así como la combinación de los dos últimos.

- Se reportan valores de QoS para Sistemas de Telemedicina sobre Enlaces Satelitales, que no se encontraron reportados en la revisión del Estado del Arte
- Se presentan los esquemas para la transmisión de aplicaciones médicas, debido a que en el Estado del Arte no se han propuesto otras opciones para lograr el apoyo médico deseado.
- Se presenta la Tabla VIII del Capítulo IV, que relaciona diferentes aplicaciones médicas y valores de los parámetros de calidad que más afectan dichas aplicaciones. El Estado del Arte evaluado no ofrece ninguna información similar a esta Tabla VIII.

VI.3 Publicaciones Derivadas de la Investigación

A partir del trabajo realizado en esta tesis, se generó la siguiente publicación:

- García, R., Tamariz, E., Conte, R., Gómez, A. 2007 "*QoS Parameters in Telemedicine: Comparative Analysis of Terrestrial and Satellite Videoconference Systems*". Sometido en WRECOM 2007 "A Broadband Wireless World for All". Rome, Italy, Octubre 1-2, 2007.

- Gómez, A. García, R. Tamariz, E., Conte, R. 2007 "*Aspectos de Calidad de Servicio en Telemedicina por Satélite*". Exposición realizada dentro del Taller de Aplicaciones Satelitales en Tele-Salud en la Ciudad Universitaria, Ciudad de México. Junio 25 – 29, 2007.

VI.4 Trabajo Futuro

Para trabajos futuros de investigación se pueden mencionar las siguientes opciones:

- Realizar la implementación real del escenario propuesto en un ambiente médico institucional y realizar medidas de QoS. También validarlos con personal médico especializado.
- Analizar los resultados obtenidos de la simulación en redes de comunicaciones satelitales de órbita baja para comprobar que es factible entregar servicios de salud a distancia bajo este escenario.
- Analizar el desempeño de la tecnología de comunicación en el escenario propuesto con otro tipo de codecs, tanto de video como de audio. Optimizar el escenario propuesto para obtener valores con mejores resultados en los buffers, tamaño de paquete, empleo de nuevos protocolos, etc.
- Analizar el desempeño de la tecnología en el escenario propuesto empleando el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP), el cual puede ofrecer ventajas para la transmisión de información médica.

- Agregar protocolos de seguridad, cifrado y encriptación, al sistema de comunicación y analizar los resultados obtenidos.
- Proponer mejoras a la Tabla VIII que relaciona aplicaciones médicas y valores de parámetros de calidad de servicio, haciendo el estudio de cada aplicación mencionada en diferentes tecnologías de comunicación.

Referencias

- Aguayo M., 2004. "Determinación del Factor de Degradación del Servicio para la verificación de SLAs en los servicios de Videoconferencia y VoIP". Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada, Ensenada, B.C. 113 pp.
- Aitken P., y Bradley J., 1994. "Aprendiendo C en 21 Días". Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México. 720 pp.
- Battrick B., 2004. "Telemedicine 2010: Vision for a Personal Medical Network". ESA Publication Division. The Netherlands. 46 pp.
- Bronzino J. D., 2000. "The Biomedical Engineering Handbook". Segunda Edición. I y II, CRC Press LLC and IEEE Press. United States of America. 3189 pp.
- Brown N., 1995. "Telemedicine Topics: A Brief History of Telemedicine". 96 pp. http://tie.telemed.org/articles/article.asp?path=articles&article=tmhistory_nb_tie95.xml. Consultado en Enero del 2007.
- Cabanillas J. C., Serrano A., Conte R., Mendoza C., Armenta A., 2005. "Sistema de Conectividad Satelital Eficiente para el Empleo en Unidades de Atención Médica Semimóviles" Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada. Reporte Técnico.

- Calyam P., y Lee C.G., 2005. 'Characterizing Voice and Video Traffic Behavior over the Internet'. International Symposium on Computer and Information Science (ISCIS). Proceedings published by Imperial College Press in a Special edition of "Advances in computer Science and Engineering book". Serie 2005. 12 pp.
- Cantú D., 2005. "Análisis de Variantes de TCP en Servicios IP sobre Redes Satelitales". Tesis de Maestría de Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada. Ensenada BC: 124 pp.
- Choi Y. B., Krause J. S., Seo H., Capitan K. E., Chung K., 2006. "Telemedicine in the USA: Standardization through Information Management and Technical Applications," IEEE Communications Magazine. Special issue. 44 (4): 41-48 pp.
- Clarke M., Fragos A., Jones R., Lioupis D., 2000. "Optimum Delivery of Telemedicine over Low Bandwidth Links". Proceedings of the 23th Annual EMBS International Conference: 32-37 pp.
- Cone SW., Gehr L., Hummel R., Rafiq A., Doarn CR., Merrell R.C., 2004 "Case Report of Remote Anesthetic Monitoring Using Telemedicine". International Anesthesia Research Society. 98(2): 386-388 pp.
- Conte R., 2000. "Satellite Rural Telephone Network Design: A Methodology for Performance Optimization". Tesis de Doctorado en Filosofía en

Ingeniería Eléctrica y Computación. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 197pp.

- Cruz H., 2001. "Análisis de Modelado de Mecanismos Para la Implementación de Redes con Calidad de Servicio". Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. Ensenada BC. 79 pp.
- Del valle J., 2006. "Análisis de Voz IP por Satélite y el Impacto de Distintas Órbitas GEO y LEO en la calidad de Servicio y Desempeño". Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. Ensenada BC. 126pp.
- Domoxoudis S., Kouremenos S., Loumos V., Drigas A. S. 2004. "Measurement, Modelling and Simulation of Videoconference Traffic from VBR Video Encoders," HET- NETs 04, 2nd International working conference on performance modelling and evaluation of heterogeneous networks. Bradford University, UK.
- Everett J., 1992 "VSATs: very small aperture terminals". Peter Peregrinus Ltd. Short Run Press. United Kingdom. 543 pp.
- Facultad de Ingeniería- UNAM. 2004. "Estado del Arte en Telemedicina: Top Level Plataforma Óptima". Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Reporte Técnico. 30pp.
- Fall K., y Varadhan K., 2005. "The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation)". The VINT Project. Junio 2005. 401 pp. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation>.

- Fitzek F., y Reisslen M., 2000. "MPEG-4 and H.323 video traces for network performance Evaluation". Technical University of Berlin, TKN Telecommunications network Group. Reporte técnico. 38 pp.
- Forde T., Doyle L., O'Mahony D., 2006. "Ad-Hoc Innovation: Distributed Decision Making in Ad-Hoc Networks". IEEE Communications Magazine. Special issue. 44 (4): 131-137 pp.
- Gallardo J., 2006. "Notas del Curso de Redes de Comunicaciones I". trimestre I. Posgrado en Electrónica y Telecomunicaciones, Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada.
- Gómez A., 2003. "Plan Nacional de Telesalud: Informe 2003". Departamento de Telemedicina ISSSTE, Ciudad de México. 45 pp.
- Gómez A., García, E., Villagomez, A., 2007. "Programa Nacional de Telesalud para México". Revista e- Salud. 11 pp.
- Gómez A.; Amaro L., 2003. "Programa Nacional de Telesalud y e-Salud en el ISSSTE". Memories of 2nd National Congress e-Health. Acapulco, Gro.
- Gu Y., Grossman R., 2003. "Using UDP for reliable data transfer over high bandwidth delay product networks". Computer Communication Review. Consultado Junio 2007. 12pp. <http://www.ncdm.vic.edu/papers/udt-protocol.pdf>.
- Huang H. K., 2004. "PACS and Imaging Informatics: Basic Principles and Applications". John Wiley & Sons. Segunda Edición. 649 pp.

- Information Science Institute. 1981. "Transmission Control Protocol". RFC 793. DARPA Internet Program. Consultado en Enero del 2007. <http://www.ibiblio.org/pubs/docs/rfclife793.txt>
- ISO/IEC. 2002. "Health Informatics – interoperability of Telehealth Systems and Networks- Part 2: Real Time Systems". TC 215/SC/WG 2. 41 pp.
- ISO/IEC. 2002. "Health Informatics – interoperability of Telehealth Systems and Networks- Part 1: Introduction and Definitions" TC 215/SC/WG 2. 15 pp.
- ITU-T Rec. G. 722. 1988. "7 KHz Audio-coding within 64 Kbit/seg".
- ITU-T Rec. H. 263. 2005. "Video Coding for Low Bit Rate Communication".
- ITU-T Rec. H. 323. 2000. "Packet-Based Multimedia Communication System".
- ITU-T Rec.T.120. 1996. "Data Protocols for Multimedia Conferencing".
- Johnston A., 2004. "SIP Understanding the Session Initiation Protocol". Artech House. Segunda Edición. London. 283 p.
- Komiya R., 2005. "A Proposal for Telemedicine Reference Model for Future Standardization". HEALTHCOM 2005. Proceeding of 7th International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Healthcare Industry. Pub. 23-25: 224-225 pp. Consultado en IEEE Xplore.

- Kota S., Pahlavan K., Leppanen P., 2004. "Broadband Satellite Communications for Internet Access" Kluwer Academic Publishers, USA: 421p.
- La Porta, T., 2006. "Wireless Technology: Advances and Challenges for Telemedicine". IEEE Communications Magazine Special issue. 44 (4).
- Maral G. y Bousquet M., 2003. "Satellite Communications Systems: Systems, Techniques and Technology". Ed. John Wiley & Sons, LTD. Cuarta edición. 745p.
- Martínez A., Villarroel V., Seoane J., del Pozo F., 2004. "Telemedicine for Primary Healthcare in Developing Countries". IEEE technology and Society Magazine. 23(2):13-22 p.
- Martínez A., Villarroel V., Seoane J., del Pozo F., 2005. "Analysis of Information and Communication Needs in Rural Primary Health Care in Developing Countries". IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 9(1): 66-72 p.
- Mijares M., 2004. "Telemedicine in Ecuador: Failure or a Learning Experience?". Healthcom 2004. Proceedings 6th International Workshop on Enterprise Networking and computing in Healthcare industry. 28-29: 41-43p. Consultado en IEEE Xplore.

- National Electrical Manufacturers Association. 2006. "Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Part 1: Introduction and Overview". PS 3.1, 21 p.
- Oppenheim A., Willsky A., 1998. "Señales y Sistemas," segunda edición, Prentice Hall Hispanoamericana. 796 pp.
- Pal A., Mbarika V.W.A., Cobb-Payton F., Datta P., McCoy S. 2005. "Telemedicine Difussion in a Developing Contry: The Case of India (March 2004)". IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 9(1): 59-65 p.
- Papoulis A. y Unnikrishna S., 1991 "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes" .Tercera edición, McGraw-Hill. 704 p.
- Patiño H., 2001. "Análisis de Modelado de Mecanismos para la Implementación de Redes con calidad de servicio" Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. Ensenada BC. 79p.
- Pierucci L., y Del Re E., 2000. "An Interactive Multimedia Satellite Telemedicine Service". IEEE Multimedia. 2 (2): 76-83 p.
- Postel J., 1980 "User Datagram Protocol" RFC 768 ISI.1980. <http://rfc.sunsite.dk/rfc/rfc768.html>. Consultado en Enero del 2007.
- Rosenberg J., 2002. "SIP: Session Initiation Protocol" RFC 3261. IETF. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>. Consultado en Enero del 2007.

- Schulzrinne H., Casner S. L., Frederick R., Jacobson V., 2001. "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications". RFC 1889.IETF. <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>. Consultado en Enero del 2007.
- Sharman D., Alibekov B., Soultanov T., Balgimbekov S. 2004. "The first telemedicine project in Kazakhstan". Proceedings 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems. 24-25: 440-445 pp. Consultado en IEEE Xplore.
- Sun Z. 2005. "Satellite Networking: Principles and Protocols". John Wiley and Sons. 342 p.
- Taesombut N., Uyeda F., Smarr L., DeFanti T., Papadopoulos P., Leigh J., Ellisman M., Orcutt J. y Chien A., 2006. "The OptIPuter: High-Performance, QoS-Guaranteed Network Service for Emerging E-Science Applications". IEEE Communications Magazine. Special issue. 44 (4). 38-45 p.
- Tortora J. G., y Anagnostakos P. N., 1993. "Principios de anatomía y fisiología". Harla. Sexta edición. México: 1206 p.
- Tulu B., Chatterjee S. 2005. "A Taxonomy of Telemedicine Efforts with Respect to Applications, Infrastructure, Delivery Tools, Type of Setting and Purpose". Proceeding of the Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICS S'05)-Track 06.6. ISBN: 1530-1605, ISSN: 0-7695-2268-8-6. 147. 2 pp. Consultado en IEEE Xplore.

- Walter, J. 2000. "bttvgrab: Program for Grabbing Video Sequences under Linux". Bttvgrab Group. <http://www.garni.ch/bttvgrab/>. Consultado en Febrero del 2007.
- Yajiong X., y Huigang L., 2007. "Analysis of Telemedicine Diffusion: The Case of China". IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 11(2): 231-233 p.
- Yao W., Istepanian R., Salem A., Alesanco A., Zisimopoulos H., Gosset P., 2004. "Quality Evaluation of Ultrasound Medical Images Transmission over UTRAN". Supported by the EU Support Project: Mobile Tele-Echography Using an Ultra-Light Robot (OTELO). Whitepaper. 12 p.

Anexo A

Las aplicaciones médicas expuestas en el Capítulo II, tienen una sensibilidad diferente a los parámetros de QoS. La Figura 31 hace referencia a cómo aumenta o disminuye dicha sensibilidad. Se observa que las aplicaciones médicas en tiempo real como Teleconsulta, Teleasistencia, Telediagnóstico y Telemonitorización son principalmente intolerantes a las variaciones en tiempo, sin embargo, la integridad de la información no se debe despreciar. Así mismo, la señal biomédica depende fuertemente tanto de la integridad de la información como de la variación en tiempo ya que la información que contiene es proveniente de un sistema biológico en tiempo real. Por otro lado, el expediente clínico no depende del tiempo en el que se debe transmitir, para esta aplicación lo primordial es que la información llegue íntegra al extremo receptor.

Aunque este trabajo no entrega una percepción real para el usuario, dependiendo de los valores que se obtienen para los diferentes parámetros de QoS se puede inferir el comportamiento de las aplicaciones, por ejemplo, para la videoconferencia, si tenemos una latencia elevada, la imagen recibida se congelará por completo; si el jitter tiene valores grandes, observaremos una imagen difusa, y por último, el PLR en exceso, produce un efecto de "pixelaje" en la imagen. El BER

tiene una inter-relación directa con la pérdida de paquetes, por lo tanto la consecuencia de éste es semejante a la del PLR.



Figura 31. Sensibilidad de las Aplicaciones Médicas con respecto a los Parámetros de Calidad de Servicio.

Introducción

El advenimiento de los sistemas tipo VSAT, ya sea unidireccional o bidireccional, representa la convergencia de varios avances tecnológicos como antenas de gran ganancia, satélites de alta potencia, módems digitales, procesamiento de protocolos, etc. Esta evolución en tecnología satelital y de estaciones terrenas asegura la vida de las VSATs dentro de arquitecturas de telecomunicaciones, ya sea en aplicaciones de negocios o simplemente como dorsal de una red mayor, corporativa o de acceso a Internet.

Actualmente, las redes VSAT se han convertido en importantes alternativas para las grandes corporaciones. Algunas de las ventajas que esta tecnología ofrece se citan a continuación:

- Los servicios en VSATs son de acceso fácil.
- Permiten un despliegue rápido de sus terminales.
- Los sitios pueden agregarse o quitarse fácilmente de las redes VSAT.
- Los costos por conexión son insensibles a la distancia.
- Se puede lograr una disponibilidad del sistema mayor al 99.9%.

Inicialmente las VSATs fueron empleadas para usuarios de telefonía pero actualmente son capaces de ofrecer aplicaciones multimedia datos entre lugares

geográficamente dispersos, principalmente, por lo que este tipo de redes son atractivas para sistemas de Telemedicina.

Elementos de Redes VSAT

El diseño de redes VSAT depende de la aplicación a transmitir, no es lo mismo querer transmitir datos que información en tiempo real, por ejemplo. Una vez que se define la aplicación es necesario considerar cuatro aspectos importantes que definen a las redes satelitales:

- *Topología de red:* se refiere a la estructura tanto lógica como física de la red satelital. Hablando de este tipo de redes se conocen dos comúnmente empleadas: malla y estrella.
- Tasas de transmisión de datos: la transmisión y recepción de datos en los sitios VSAT está limitada por el tamaño de la antena y la capacidad del amplificador de transmisión y típicamente soportan valores de transmisión de información entre 64 y 512 Kbps y recepción entre 64 y 6000 Kbps
- Esquema de acceso múltiple: el problema del acceso al medio surge cuando varias portadoras son tomadas simultáneamente por el satélite, el cual es un nodo en la red, y empiezan a contender por el medio de comunicación. Es por esto que la elección de este tipo de esquemas

debe ser minuciosa de acuerdo a las aplicaciones. Principalmente en redes satelitales se emplean los accesos múltiples FDMA, TDMA y CDMA.

- Protocolos de múltiple acceso: Un protocolo de acceso múltiple se puede definir como un conjunto de reglas a través de las cuales los usuarios comparten un canal de comunicación [Kota, 2004]. Existe una gama amplia desarrollada de protocolos de múltiple acceso los cuales pueden ser revisados en [Everett, 1993], [Kota, 2004] o [Maral, 2002]. Específicamente en este trabajo de investigación se empleó una portadora por canal (SCPC) combinado con FDMA.

Convergencia de Tecnologías

A lo largo de la historia de la humanidad se han presentado diversos acontecimientos tecnológicos importantes, como la aparición de los sistemas de comunicaciones y las computadoras. Esto trajo como consecuencia la necesidad de las personas de comunicarse entre sí, y al paso de los años, la demanda de servicios de video, voz y datos cada vez más exigentes.

Dicha necesidad de contar con mejores medios de comunicación ha llevado a los investigadores, ingenieros y técnicos a desarrollar mejores sistemas de comunicación. Entre las mejoras más importantes se encuentra la migración de conmutación de circuitos a conmutación de paquetes, la aparición de TCP/IP, el mejoramiento de los protocolos de acceso al medio, entre otros. Todas ellas

convergen en sistemas de comunicaciones con alta calidad de servicio y que ofrecen disponibilidad a mayor cantidad de usuarios simultáneamente. Todo lo anterior sienta las bases para el desarrollo exitoso de Internet, el cual juega un papel primordial para la transferencia de video, voz y datos en la actualidad.

Redes Satelitales e Internet

Las redes VSAT han llegado a formar parte importante de las redes híbridas globales de comunicación para el soporte de Internet e incluso cuentan ya con la infraestructura suficiente para redes IP; capaz de soportar servicios multimedia. Las cualidades de los sistemas de comunicación satelital más conocidas son su amplia cobertura, escalabilidad, flexibilidad de ancho de banda, etc. La posible incorporación de constelaciones de satélites de órbita baja con procesamiento a bordo amplía las razones por las cuales se opta por este tipo de redes para ofrecer servicios de banda ancha. Conviene especificar que este trabajo de investigación está dirigido al empleo de satélites geoestacionarios.

Comparación con Internet básico e Internet 2

La evolución que ha tenido Internet hacia Internet 2 ha sido una de las propuestas más interesantes desarrollada por Universidades y Gobiernos en conjunto para el ofrecimiento de servicios de banda ancha. Actualmente Internet 2 juega un papel importante a nivel internacional, ya que cuenta con estrategias

para proporcionar excelente calidad de servicio a los usuarios gracias a su gran ancho de banda (34 Mbps). Sin embargo, su limitación para llegar a zonas geográficas de difícil acceso le da realce a las redes VSAT, puesto que por su cobertura amplia puede rellenar esta deficiencia, además de ser capaz de soportar velocidad de transmisión suficiente para aplicaciones multimedia. Por otro lado, DSL y ADSL ofrecen una limitada velocidad de transmisión, sobre todo en la parte del enlace de subida (módem a proveedor de servicio de internet) y al igual que Internet 2, el acceso a zonas apartadas es difícil.

Por lo anterior, la Telemedicina ha puesto su confianza en el empleo de VSATs para la transmisión de información médica, efectuar Teleconsultas y ofrecer educación continua para los profesionales de la salud. Esto se logra a través de videoconferencias, vía correo electrónico o simplemente con el almacenamiento de información que pueda servir para ofrecer diagnósticos acertados o una segunda opinión de especialistas remotos en las diferentes áreas de la salud.

Anexo C

En este anexo se explica, de manera general, el funcionamiento del software empleado para las simulaciones.

Network Simulator (NS, en adelante), es una herramienta de software de distribución libre que permite crear escenarios, de acuerdo a las necesidades del usuario, a través de módulos u objetos que realizan las tareas deseadas. NS está basado en C++, un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos y además, emplea un intérprete llamado OTcl.

NS emplea ambos lenguajes debido a que requiere efectuar diferentes tareas. Por un lado, la simulación de protocolos necesita un lenguaje de programación flexible, capaz de manejar eficientemente bytes, paquetes, encabezados y poderse realizar rutinas fáciles de ingresar en algoritmos más elaborados. Por otro lado, en ocasiones se necesita variar parámetros, configuraciones o explorar rápidamente diversos escenarios, estas tareas pueden ser realizadas con OTcl por medio de objetos ya existentes.

Por las razones descritas en los párrafos anteriores Network Simulator se ha ido desarrollando con el paso del tiempo, al grado que en la actualidad es empleado por la comunidad científica alrededor del Mundo.

Anexo D

En este anexo se amplia la información correspondiente a la Tabla VIII del Capítulo IV esperando adquiera un mejor entendimiento de la misma el lector.

La Tabla VIII, surge de la necesidad de valorar los resultados obtenidos de los parámetros de calidad de servicio identificados como intolerantes por las aplicaciones médicas involucradas en este trabajo. La reducida información existente acerca del tema, llevó a Edna Iliana Tamariz Flores y el que suscribe, a buscar información de diversas fuentes como [Calyam, 2005], [Cabanillas, 2005], [Martín-Fernández, 2004], [Aguayo, 2004], [Hurtado, 2004], [Cruz, 2001], [Huang, 2004], [Bronzino, 2000], [Tortora, 1994], diferentes recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y algunos RFCs que finalmente fueron integrados para formar una tabla que relaciona aplicaciones médicas y los parámetros de calidad de servicio que más afectan dichas aplicaciones.

En Figura 32 se presenta una explicación gráfica de la Tabla VIII. En el lado izquierdo de la misma se encuentra la aplicación médica y al desplazarnos hacia la derecha de la Tabla se muestran los parámetros de QoS que más afectan en la degradación de la aplicación médica en cuestión. Así mismo, en la parte derecha se presentan las áreas de especialidad que pueden ser involucradas para cada aplicación médica.

Por otro lado, la fila de la parte inferior permite identificar los intervalos de calidad para cada aplicación existente en la tabla, solo es necesario ubicar el color que corresponde al intervalo de calidad deseado y relacionarlo con los valores correspondientes de cada parámetro de QoS.

Valores Técnicos de Calidad de Servicio para diversas Aplicaciones Médicas						
Aplicación Médica	Recomendaciones ITU	Parámetros que Impactan en la Degradación		Parámetros Fijos		Áreas de Especialidad
EXPEDIENTE MÉDICO	Datos Recomendación T.120	BER	10exp-3	BER	10exp-3	Diagnóstico x Imagen Radiología Dermatología Oftalmología Patología Endoscopia Ortopedia Ginecología
		PLR	5%			
VIDEOCONFERENCIA H.323	Audio Recomendación G.722	Jitter	<20 ms 0-150 ms	BER	10exp-3	Diagnóstico Auditivo (Audio) Neumología Cardiología
		Latencia	150-300 ms >300 ms			
	Video Recomendación H.263	Jitter	0-20 ms 20-50 ms >50 ms	BER	10exp-6	Diagnóstico por Audio y Video Teleconsulta Telediagnóstico Teleasistencia Telemonitoreo Teleeducación
		Latencia	0-150 ms 150-300 ms >300 ms			
		PLR	5%			
	Correo Electrónico	Latencia	1400 ms	BER	10exp-3	 Grupo de Comunicaciones Inalámbricas
CALIDAD		Parámetro Fijo	Buena	Aceptable	Inaceptable	

Figura 32. Explicación gráfica de la tabla de relación entre aplicaciones médicas, parámetros de calidad de servicio e interfaces de digitalización.

Finalmente, se presentan las definiciones de las áreas de especialidad mostradas en la Tabla VIII para una mejor comprensión.

- Radiología: Especialidad médica encargada de las tecnologías de imágenes médicas. Anteriormente solamente involucraba imágenes con rayos X, pero ahora también puede emplear ultrasonidos, tomografías, resonancias magnéticas o angiografías.
- Dermatología: Especialidad médica encargada del diagnóstico y tratamiento de padecimientos y tumores de la piel, uñas, etc., y existe la parte quirúrgica y médica. Aquí pueden ser empleadas cámaras digitales de video y fotografía de alta definición.
- Oftalmología: El objetivo de esta especialidad es el diagnóstico y tratamiento de enfermedades del ojo. Al igual que la especialidad anterior, emplea cámaras digitales de video y fotografía de alta definición.
- Patología: Rama de la medicina que estudia las enfermedades como procesos anormales de causas conocidas o desconocidas. En esta especialidad se realizan biopsias para tomar muestras que se deseen estudiar, el uso de un microscopio digital es indispensable.
- Endoscopía: Es una técnica diagnóstica empleada en la medicina la cual consiste en la introducción de un endoscopio por cualquier orificio natural o incisión quirúrgica con la finalidad de visualizar algo en particular o tomar

una biopsia. El endoscopio debe contar con una cámara de video o fotografía, por lo regular digital.

- **Ortopedia:** Es la disciplina que previene o evita las imperfecciones del aparato locomotor a través de ejercicios o dispositivos especiales, además, en conjunto con la traumatología, permite el diagnóstico y tratamiento. Aquí encontramos como equipo auxiliar para imágenes los rayos X, tomografías y resonancias magnéticas.
- **Ginecología:** Es la especialidad encargada de los padecimientos del aparato reproductor de la mujer. Se emplean equipos como el ultrasonido y estetoscopio digital.
- **Neumología:** Se encarga de las enfermedades del aparato respiratorio en su totalidad y se emplea comúnmente un estetoscopio digital.
- **Cardiología:** Parte de la medicina que trata enfermedades del corazón y aparato circulatorio, regularmente se emplea estetoscopio, ECG, oxímetro y bawmanómetro, todos ellos digitales o angiografías.
- **Videoconferencia:** Involucra la transmisión sincronizada de video y voz, también soporta datos, entre dos o más entidades. Esta aplicación ofrece Teleconsultas, Teleeducación, Teleasistencia o Telemonitoreo. Emplea cámara de video y micrófonos.

- Voz IP: Se refiere a la comunicación entre dos entidades a través de un canal de voz empleando el protocolo de Internet. Cabe mencionar que este servicio también puede ser realizado con telefonía fija.
- Correo electrónico: Aplicación que permite el envío de información textual a través de Internet. Puede ser empleada para transmitir algunos datos médicos a algún especialista. Aquí solo se necesita una computadora con conexión a Internet.