

TESIS DEFENDIDA POR

Edna Iliana Tamariz Flores

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



Dr. Roberto Conte Galván

Director del Comité



Dr. David Hilario Covarrubias Rosales

Miembro del Comité



M.C. Raúl Rivera Rodríguez

Miembro del Comité



Dra. Ana Isabel Martínez García

Miembro del Comité



Dra. Amanda Orta Gómez González

Miembro del Comité



Dr. Arturo Velázquez Ventura

*Coordinador del programa de
posgrado en Electrónica y
Telecomunicaciones*



Dr. Edgar Gerardo Pavía López

Director de Estudios de Posgrado

31 de Julio de 2007

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



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

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE QoS ENTRE REDES DE COMUNICACIONES PARA
PROPORCIONAR SERVICIOS DE SALUD A DISTANCIA**

TESIS

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

Presenta:

EDNA ILIANA TAMARIZ FLORES

Ensenada, Baja California, México, Julio del 2007.

RESUMEN de la Tesis de **Edna Iliana Tamariz Flores**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de **MAESTRO en CIENCIAS en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**. Ensenada, Baja California, México. Julio de 2007.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE QOS ENTRE REDES DE COMUNICACIONES PARA PROPORCIONAR SERVICIOS DE SALUD A DISTANCIA.

Resumen aprobado por:

Dr. Roberto Conte Galván
Director de Tesis

Las telecomunicaciones hoy en día se consideran una herramienta en la práctica de la medicina, denominada Telesalud, cuyos objetivos consisten en la descentralización de la información médica, interconectando centros complejos de especialidad médica a otros más carentes, trabajar con segunda opinión y permitir el diagnóstico a distancia.

Los servicios que se emplean para Telesalud, se realizan a través de sistemas de videoconferencia, transmitiéndose por sistemas de comunicaciones como Internet básico o Internet2. Es necesario resaltar la poca estandarización que necesita ser mejorada antes de que la Telesalud pueda utilizarse eficientemente para proporcionar un mejor servicio de atención a la salud.

Este trabajo de investigación incluye el estudio bibliográfico, modelado y simulación de redes terrestres de videoconferencia con información médica. Esta información médica incluye tres aplicaciones: expediente médico, señal biomédica y correo electrónico. Basándose en estas aplicaciones médicas, la simulación se realizó utilizando el ambiente NS-2, donde se usó el modelo de red de Internet básico e Internet2 México, ubicando diferentes sitios médicos del ISSSTE, tal como un Centro Médico Nacional y clínicas de primer, segundo y tercer nivel (San Quintín, Ensenada y Tijuana respectivamente). El objetivo de esta tesis fue el análisis de los parámetros de Calidad de Servicio: retardo, variación de retardo y pérdida de paquetes, para garantizar una Calidad de Servicio Buena, Aceptable o Inaceptable de acuerdo a los niveles permitidos para la transmisión de aplicaciones médicas. Estos resultados fueron comparados con los obtenidos en otro trabajo de tesis, elaborada de manera simultánea a ésta, sobre aplicaciones médicas en sistemas satelitales.

Del análisis de resultados se concluyó que Internet2 es una alternativa para la transmisión de videoconferencia con información médica con Calidad de Servicio, permaneciendo dentro de los límites permitidos para ofrecer calidad Buena. Para los sistemas sobre Internet básico se muestran las ventajas y limitaciones específicas de cada caso, además de la comparación con sistemas satelitales.

Palabras Clave: Calidad de Servicio, Videoconferencia, Telesalud y Telemedicina.

ABSTRACT of the Thesis of **Edna Iliana Tamariz Flores**, presented as a partial requirement to obtain the **MASTER in SCIENCE** degree in **ELECTRONIC AND TELECOMMUNICATIONS**. Ensenada, Baja California, Mexico. Julio de 2007.

COMPARATIVE ANALYSIS FOR QoS BETWEEN COMMUNICATIONS NETWORKS TO PROVIDE DISTANCE HEALTH SERVICES.

Approved by:

Dr. Roberto Conte Galván

Today, telecommunications are a tool in the practice of medicine called Telehealth, whose objectives consist of the decentralization of medical information, connecting medical specialist centers to others more lacking, access to second opinions and allow a diagnostic to distance.

The Telehealth services may use current videoconferencing systems, transmitted either by Internet or Internet2. There are unresolved standardization issues that need to be addressed before Telehealth can be used efficiently to provide better services of health.

This research is based on a bibliographical study, and the modeling and simulation of terrestrial videoconferencing networks with medical information. This medical information includes three applications: medical report, biomedical signal and e-mail. Using the NS-2 software, the medical applications models were made. For simulations purposes, Internet and Mexico Internet2 network was used, with different medical places of ISSSTE like National Medical Center, clinics of attention level one, two and three (San Quintín, Ensenada and Tijuana respectively). The objective of this research was the analysis of the parameters of Quality of Service, delay, jitter and packet loss rate to assure a Quality of Service Good, Acceptable and Unacceptable in accordance with the allowed levels to transmit medical applications. The results were compared with that obtained in other research, about medical applications on satellite systems.

Of the analysis, it was concluded that Internet2 is an alternative for the transmission of videoconferencing with medical information with Quality of Service, which remaining inside of the limits permitted for offer quality Good. For Internet showing the specific advantages and limitations of each case, also the comparison with satellite systems.

Key words: Quality of Service, Videoconferencing, Telehealth and Telemedicine.

Dedicatoria

A Dios

Que con su amor desde siempre, nunca me ha dejado sola en el camino, dándome la fortaleza para empezar un nuevo día.

Como dice Simón Bolívar, que para el logro del triunfo siempre ha sido indispensable pasar por la senda de los sacrificios...

Al regalo máspreciado que Dios me pudo dar

Daniel Tamariz Monjaraz y Elia Flores Lima por ser mis mejores amigos, confidentes y padres, les agradezco infinitamente su amor incondicional y que por ustedes todo tiene sentido.

Teniente F.A.P.A Daniel Tamariz Flores, porque en nuestro caso, el tiempo y la distancia no fue obstáculo para apoyarnos en nuestras metas, manteniendo muy fuerte ese lazo de hermanos, y descubrir que ningún camino de flores conduce a la gloria.

Carlos Tamariz Flores, por tu singular atención y siendo el más pequeño, gracias por confiar en mí y animarme en mis decisiones.

A los dos les digo, que tenemos que seguir remando hacia la orilla... convirtiendo cada paso en una meta y cada meta en un paso.

A mis abuelitos, Daniel Tamariz[†] y Lupita Monjaraz[†] (aunque te conocí en los recuerdos de mi papá), Chema Flores[†] y Rosita Lima por ser y haber sido tan lindos conmigo.

Muy en especial a mi flaco hermoso, Richard Torrealba Meléndez por compartir esta etapa de mi vida y sé que no será la única... tantos siglos, tantos mundos, tanto espacio y coincidir. Si hay que nombrarlo de un modo diré que te amo por llamarlo así.

Agradecimientos

A toda mi familia de Puebla y a mis amigos: Tere, Rosalía, Luz, Diana, Marisol, Micaela Arroyo, Candelaria Hernández, Julio, Fabián, Luis, Dr. Esteban Tlelo y Prof. Vivaldo Cuesta que nunca dejaron de confiar en mí.

A mi director de tesis, Dr. Roberto Conte, porque me enseñó a mezclar los ingredientes necesarios para la realización de esta tesis.

A los miembros de mi comité de tesis, Dr. David Covarrubias Rosales, MC. Raúl Rivera Rodríguez, a la Dra. Amanda O. Gómez González y a la Dra. Ana I. Martínez García, por sus valiosas aportaciones y consejos durante este trabajo de tesis.

Al Dr. David Covarrubias por sus atenciones, consejos y apoyo. Al MC. Raúl Rivera por sus siempre tan acertados comentarios y contribuciones, disponibilidad y atención. A ambos gracias por su amabilidad para el desarrollo de este proyecto de tesis.

Muy en especial al Dr. Arturo Velázquez, que sin su apoyo y atención prestada no estaría escribiendo estas líneas.

A Jorge Sánchez, por tu incomparable paciencia y agradable compañía. A Rubén, por ser un excelente compañero y amigo de trabajo, que con tu peculiar risa (sin que se ponga celosa tu esposa Ale), superamos y festejamos los mejores momentos y hasta las malas rachas de la maestría.

Al Grupo de Comunicaciones Inalámbricas (GCI) por el gran equipo que forma y por el apoyo que me brindó, fue un placer pertenecer a este grupo.

A mis amigos del Grupo de Comunicaciones Inalámbricas (GCI): Richard, Jorge, Rubén y Lennin. No olvidando a Iván, que en todo momento formó para mí parte del grupo. Gracias por su amistad, por los buenos, malos, desesperantes y angustiosos momentos que pasamos en el camino, les deseo mucho éxito en su vida.

A toda mi generación y a los que de alguna manera formaron parte de ella: Dania, Eli, Sarai, Aldo, Andalón, Andrés, Ariel, Alfonso Romo, Beto, Daniel, Javier, Jonathan, Kobe, Luis, Mario, Marco, Muraoka, Paúl, Sergio y Varun que con su apoyo lograron que esta meta se cumpliera, gracias!

A todo el personal del CICESE que siempre me atendió con una sonrisa y hacer más agradable mi estancia.

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

CONTENIDO

	Página
Capítulo I	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
<i>I.1. Antecedentes.....</i>	2
<i>I.2. Justificación.....</i>	3
<i>I.3. Objetivo de la Tesis.....</i>	4
<i>I.4. Metas.....</i>	5
<i>I.5. Infraestructura utilizada.....</i>	6
<i>I.6. Organización del documento de Tesis.....</i>	6
 Capítulo II	
II. ASPECTOS GENERALES SOBRE TELESALUD, TELEMEDICINA Y TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN MÉDICA.....	8
<i>II.1. Definiciones técnicas y médicas.....</i>	9
II.1.1. Telesalud.....	9
II.1.2. Telemedicina.....	10
II.1.3. Cibersalud.....	11
<i>II.2. Estado actual de Telesalud a nivel mundial.....</i>	11
<i>II.3. Estado actual de Telesalud en México.....</i>	13
<i>II.4. Calidad de Servicio en Telesalud.....</i>	14
<i>II.5. Transmisión de las aplicaciones médicas.....</i>	16
II.5.1. Maletín Médico.....	16
II.5.2. Videoconferencia.....	19
II.5.3. Diagnóstico por Imagen.....	21
II.5.4. Diagnóstico Auditivo.....	23
 Capítulo III	
III. MODELADO DE REDES TERRESTRES PARA APLICACIONES MÉDICAS.....	26
<i>III.1. Tecnologías de red.....</i>	27
III.1.1. Internet básico.....	27
III.1.2. Internet2.....	28
<i>III.1.2.1. Servicios Diferenciados.....</i>	29
III.1.3. Características compartidas de Internet básico e Internet2.....	31
<i>III.1.3.1. Envío de Información Multimedia.....</i>	32
<i>III.1.3.2. Tráfico de Fondo.....</i>	33
<i>III.2. Parámetros de QoS que degradan las aplicaciones médicas.....</i>	34
III.2.1. Probabilidad de Pérdida de Paquetes.....	35
III.2.2. Variación de Retardo.....	37
III.2.3. Retardo.....	38
<i>III.3. Clasificación de las aplicaciones médicas de acuerdo a la QoS.....</i>	41
III.3.1. Calidad de Servicio en Videoconferencia.....	42

CONTENIDO (continuación)

	Página
Capítulo IV	
IV. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
<i>IV.1. Tabla de Valores Técnicos.....</i>	46
<i>IV.2. Tráfico de Videoconferencia.....</i>	46
IV.2.1. Video.....	48
<i>IV.2.1.1. Comparación entre 256 kbps y VBR.....</i>	48
IV.2.2. Audio.....	52
<i>IV.3. Internet básico.....</i>	53
IV.3.1. Enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.....	53
IV.3.2. Enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....	57
IV.3.3. Enlace entre clínica de 2do nivel al Centro Médico Nacional.....	61
IV.3.4. Análisis de Probabilidad de Pérdida de Paquetes para expediente médico en Internet básico.....	64
<i>IV.4. Internet2.....</i>	66
IV.4.1. Enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.....	67
IV.4.2. Enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....	70
IV.4.3. Enlace entre clínica de 2do nivel al Centro Médico Nacional.....	73
IV.4.4. Análisis de Probabilidad de Pérdida de Paquetes en Internet2.....	75
Capítulo V	
V. COMPARACIÓN ENTRE INTERNET BÁSICO, INTERNET2 Y SISTEMAS SATELITALES EN APLICACIONES MÉDICAS.....	78
<i>V.1. Análisis del enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.....</i>	78
V.1.1. Retardo extremo a extremo.....	79
V.1.2. Variación de retardo.....	80
V.1.3. Probabilidad de Pérdida de Paquetes.....	81
<i>V.2. Análisis del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....</i>	82
V.2.1. Retardo extremo a extremo.....	82
V.2.2. Variación de retardo.....	83
V.2.3. Probabilidad de Pérdida de Paquetes.....	84
<i>V.3. Análisis del enlace entre clínicas de 2do nivel y Centro Médico Nacional.....</i>	86
V.3.1. Retardo extremo a extremo.....	86
V.3.2. Variación de retardo.....	87
V.3.3. Probabilidad de Pérdida de Paquetes.....	88
<i>V.4. Comparación de Redes de Comunicaciones para transmisión de aplicaciones médicas.....</i>	90
Capítulo VI	
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
<i>VI.1. Conclusiones.....</i>	93
<i>VI.2. Recomendaciones.....</i>	98
<i>VI.3. Aportaciones.....</i>	98

CONTENIDO (continuación)

	Página
<i>VI.4. Publicaciones resultado del trabajo de investigación.....</i>	100
<i>VI.5. Trabajo Futuro.....</i>	100
BIBLIOGRAFÍA.....	102
APÉNDICE A. Estándar H.323.....	106
APÉNDICE B. Compresión del Servicio de Video sobre IP.....	111
APÉNDICE C. Digitalización de Imagen.....	114
APÉNDICE D. Protocolos de Transporte de Internet.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Maletín médico con los módulos principales que lo conforman [Viruete, 2005].....	17
2	Conexión punto a punto en videoconferencia.....	20
3	Conexión multipunto en videoconferencia.....	20
4	Imágenes digitales de un expediente médico.....	22
5	Diagrama a bloques del procedimiento de adquisición de una señal biomédica [Bronzino, 2000].....	24
6	Modelo de Markov.....	28
7	Arquitectura de Servicios Diferenciados.....	30
8	Encabezado para aplicaciones en tiempo real.....	32
9	Modelo de un sistema de videoconferencia [Baldi, 2000].....	40
10	Calidad de servicio para video en videoconferencia.....	44
11	Distribución de video: a) 256 kbps y b) VBR.....	48
12	Función de Densidad de video: a) 256 kbps y b) VBR.....	50
13	Análisis comparativo de retardo entre 256 kbps y VBR en Internet2	51
14	Escenario de conexión por Internet básico entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.....	54
15	Retardo del enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	54
16	Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	55

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
17	Comparación entre videos de alta movilidad y de media movilidad en base a la probabilidad de pérdida de paquetes en el enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención.....	56
18	Escenario de conexión por Internet básico entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....	58
19	Retardo del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	58
20	Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	59
21	Comparación entre videos de alta movilidad y de media movilidad en base a la probabilidad de pérdida de paquetes en el enlace de clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....	60
22	Escenario de conexión por Internet básico entre clínica de 2do nivel de atención y el Centro Médico Nacional.....	61
23	Retardo del enlace entre clínica de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica	61
24	Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica	62
25	Comparación entre videos de alta movilidad y de media movilidad en base a la probabilidad de pérdida de paquetes en el enlace entre clínica de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional.....	63
26	Probabilidad de pérdida de paquetes para expediente médico con correo electrónico, por Internet básico para enlaces entre clínicas de: a) 1er a 2do nivel, b) 2do a 3er nivel y c) 2do nivel a CMN...	64
27	Esquema de simulación para enlaces por Internet2.....	66

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
28	Escenario de conexión por Internet2 entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención.....	68
29	Retardo del enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	68
30	Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	69
31	Escenario de conexión por Internet2 entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....	70
32	Retardo del enlace entre clínicas de 2do a 3er nivel de atención, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	71
33	Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 2do a 3er nivel de atención, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	72
34	Escenario de conexión por Internet2 entre clínicas de 2do nivel de atención y Centro Médico Nacional.....	73
35	Retardo del enlace entre clínicas de 2do nivel de atención a Centro Médico Nacional, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.....	74
36	Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 2do nivel de atención a Centro Médico Nacional, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica	74
37	Probabilidad de pérdida de paquetes en Internet2 para enlaces entre clínicas de: a) 1er a 2do nivel, b) 2do a 3er nivel y c) 2do nivel a CMN.....	76
38	Comparación entre Internet básico e Internet2 en base al retardo extremo a extremo entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención..	79

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
39	Comparación entre Internet básico e Internet2 en base a la variación de retardo entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.....	80
40	Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite en base al retardo extremo a extremo entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención	83
41	Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite en base a la variación de retardo entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.....	84
42	Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite en base al retardo extremo a extremo entre clínicas de 2do nivel de atención y el Centro Médico Nacional.....	87
43	Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite en base a la variación de retardo entre clínicas de 2do nivel de atención y el Centro Médico Nacional.....	88
44	Arquitectura H.323 dentro del modelo OSI.....	108
45	Modelo TCP/IP.....	116
46	Modelo TCP/IP mostrando las subcapas de la capa de Transporte.....	118

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Intervalo de frecuencias para una señal biomédica	23
II	Campo ToS de Servicios Diferenciados	31
III	Clasificación de Calidad de Servicio para video en videoconferencia	43
IV	Valores Técnicos de Calidad de Servicio para diversas aplicaciones médicas	47
V	Consideraciones de simulación	52
VI	Probabilidad de Pérdida de Paquetes en el enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel para Internet básico e Internet2	81
VII	Probabilidad de Pérdida de Paquetes en el enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel para Internet básico, Internet2 y Satélite	85
VIII	Probabilidad de Pérdida de Paquetes en el enlace entre clínica de 2do nivel al CMN para Internet básico, Internet2 y Satélite	89
IX	Comparación de Redes de Comunicaciones en la transmisión de aplicaciones médicas	91

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico a nivel mundial ha beneficiado a la sociedad a través de las redes de comunicaciones, las cuales tienen la necesidad de satisfacer la demanda de los diferentes servicios de telecomunicaciones, que día a día necesitan un mayor ancho de banda y una mejor Calidad de Servicio (*Quality of Service*, QoS)¹ para las nuevas aplicaciones que se han venido desarrollando hasta la actualidad.

Aplicaciones como videoconferencia, transmisión de datos multimedia, envío de información en tiempo real, requieren de un nivel de Calidad de Servicio que les permita mantener un desempeño eficiente.

Las telecomunicaciones hoy en día se consideran una herramienta en la práctica de la medicina, debido al rápido crecimiento en el mundo, denominada “Telemedicina”. Ésta consiste en la utilización de infraestructura de red de banda ancha que consiste en la descentralización de información médica, interconectando centros complejos a otros más carentes, trabajar con “segunda opinión” y permitir el diagnóstico a distancia.

¹ La recomendación E.800 de la ITU, define la Calidad de Servicio como el efecto colectivo del desempeño de servicio, el cual determina el grado de satisfacción de un usuario del servicio.

I.1 Antecedentes

En muchos países desarrollados del mundo existe gente que vive en áreas rurales muy remotas, que tienen problemas para acceder a servicios médicos. Principalmente estos problemas se presentan en México, debido a los aspectos geográficos, inaccesibilidad por caminos inadecuados e infraestructura del transporte, en lo cual también intervienen aspectos económicos, laborales y culturales.

Las instituciones encargadas de atender los servicios de salud en México, cuentan con una distribución insuficiente de los recursos de salud y carencia de personal, existiendo, como se mencionó anteriormente, áreas rurales con una penuria histórica.

La clave para resolver este tipo de problemas es almacenar la información de interés médico y enviarla a otra localidad con mayores recursos que la primera. Esto permite ofrecer más y mejores servicios de salud a la población, extender la cobertura y perfeccionar estos servicios.

Existen instituciones especializadas que cuentan con la infraestructura adecuada para atender todo tipo de servicio a sus derechohabientes, aunque generalmente se encuentran en grandes ciudades, lejos de áreas suburbanas, rurales y remotas. Debido a esto, se ha buscado que la tecnología de hoy en día, brinde las herramientas necesarias para enfrentar estos tropiezos que limitan la intercomunicación entre clínicas y hospitales de primer, segundo y tercer nivel de acuerdo a [Gómez, 2004]. Tres instituciones nacionales como son el 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 (CICESE, FI-UNAM e ISSSTE

respectivamente) buscan utilizar los recursos tecnológicos existentes y disponibles en el país de la manera más eficiente para llevar atención médica a distancia, buscando determinar cuáles tecnologías de red, puedan servir más eficientemente a la Telemedicina en cualquier nivel de atención.

I.2 Justificación

Las tecnologías de conexión a redes remotas incluyen tecnología terrestre, como Internet básico e Internet2, así como enlaces satelitales, permitiendo la transmisión de información médica con suficiente Calidad de Servicio para proporcionar un diagnóstico médico a distancia de manera eficaz y eficiente. Esta Calidad de Servicio está relacionada con el retardo y variación de retardo en los paquetes de la información transmitida por la red, además de la integridad de la información, analizada a través de la probabilidad de pérdida de paquetes.

Con la aplicación de estas tecnologías en el campo de la medicina, como transferencia de datos, imágenes, sonidos y aplicaciones en tiempo real, entre las que se encuentra la videoconferencia, se necesita proveer los niveles de Calidad de Servicio adecuados para brindar una mejor atención al paciente.

Específicamente, como lo menciona [Choi, 2006], existe en la estandarización un número de inconvenientes sin resolver que necesitan ser atendidos antes de que la Telemedicina pueda utilizarse de la manera más eficiente y efectiva como sea posible, con el fin sólo de proveer mejores cuidados de servicio de salud y de esta manera adoptar dichos estándares.

La transmisión de videoconferencia a través de redes terrestres es un tema actual que se emplea tanto en Telemedicina como en otras áreas de la vida cotidiana. Después de realizar una búsqueda bibliográfica, se encontró una gran falta de estandarizaciones en Telemedicina para llevar a cabo eficientemente la transmisión de información médica.

De lo expuesto anteriormente, se establece como interés de este trabajo de tesis proponer los umbrales de Calidad de Servicio, ya que mediante ellos se establecerán los valores de los parámetros de calidad para proporcionar un buen telediagnóstico. Esto se realizará sobre enlaces por Internet básico e Internet2 para la transmisión de aplicaciones médicas, mediante el estudio e investigación de cada uno de los enlaces antes mencionados, y posteriormente, realizar una comparación con los resultados de enlaces satelitales. La razón de comparar el desempeño entre los enlaces de Internet básico e Internet2 con los parámetros de un enlace satelital, es sólo para dar una referencia de cuál enlace es más conveniente para cada una de las aplicaciones médicas a través de los umbrales de calidad porque a partir de éstos se determinará si dichas aplicaciones garantizan una calidad Buena, Aceptable o Inaceptable.

Todo esto se reduce a buscar una tecnología con la habilidad para mejorar la calidad de vida gracias a la Telemedicina, que se resuelve mediante el uso de políticas de estandarización fundamentales.

I.3 Objetivo de la Tesis

El objetivo de este trabajo de investigación es el modelado y simulación de enlaces terrestres de videoconferencia con información médica, para la evaluación de los umbrales

de QoS sobre Internet básico e Internet2, y compararlos con resultados equivalentes de Sistemas de Comunicación Satelital.

Obtención de parámetros de QoS en videoconferencia tales como retardo, variación de retardo y probabilidad de pérdida de paquetes, entre instalaciones médicas ubicadas en San Quintín, Ensenada y Tijuana BC. y la Ciudad de México.

I.4 Metas

Este trabajo plantea obtener las siguientes metas:

- Realizar un estudio de las propuestas existentes en Telemedicina con énfasis en enlaces de Internet básico e Internet2.
- Realizar un análisis de varios tipos de enlaces de comunicaciones a distancia para ofrecer servicios de salud pública en México.
- Realizar una investigación de las operaciones técnicas y arquitectura entre enlaces de Internet básico e Internet2, considerando umbrales de QoS con utilidad médica.
- Utilizar enlaces IP terrestres WAN (Internet básico e Internet2) para la obtención de los parámetros de QoS, mediante simulaciones en NS-2, entre instalaciones médicas ubicadas en San Quintín, Ensenada , Tijuana BC. y Ciudad de México.
- Obtención de parámetros de QoS en servicios de videoconferencia médica, tales como: retardo, variación de retardo y probabilidad de pérdida de paquetes.
- Analizar y comparar resultados de estos enlaces de comunicaciones, con los de Sistemas de Comunicación Satelital.

I.5 Infraestructura utilizada

- Computadora personal portátil.
- Software Network Simulator 2 (NS-2) y MATLAB como interfaz gráfica.
- Material de biblioteca CICESE.
- Artículos, libros, tesis, manuales y revistas del área.

I.6 Organización del documento de Tesis

El presente documento se encuentra organizado de la siguiente manera: en el Capítulo II se presentan conceptos básicos sobre Telesalud y Telemedicina, con el fin de conocer sus características para el desarrollo de este trabajo, además de conocer la situación en la que se encuentran en el mundo y en México. En este capítulo se destaca también qué tipo de aplicaciones médicas se utilizarán para realizar un telediagnóstico más completo a través de su transmisión, y de esta manera analizar la degradación que obtiene la videoconferencia en la red.

El Capítulo III define las tecnologías de información que servirán, como medio de transmisión, para las aplicaciones médicas. La importancia de este capítulo se basa en la presentación de los parámetros de calidad que obtendrán los umbrales de QoS mediante su análisis en videoconferencia.

La piedra angular de este trabajo de tesis se presenta en el Capítulo IV, donde se muestra el comportamiento de los enlaces de comunicaciones, tanto de Internet básico como Internet2, en servicios de Telesalud por medio de los parámetros de calidad, y determinar qué

parámetro degrada más a la videoconferencia, por medio del análisis de las estadísticas que se obtengan.

Finalmente, en el Capítulo V de este trabajo se presenta, el análisis comparativo entre enlaces terrestres de comunicaciones y los Sistemas de Comunicaciones Satelitales. Mediante la validación de los umbrales de Calidad de Servicio, se establecerá cual de estas tecnologías presenta una calidad buena, aceptable o inaceptable en la transmisión en un diagnóstico a distancia. En el Capítulo VI, se exponen las conclusiones generales, aportaciones y trabajo futuro de cara al cumplimiento de los objetivos del trabajo de tesis.

ASPECTOS GENERALES SOBRE TELESALUD, TELEMEDICINA Y TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN MÉDICA A DISTANCIA

Actualmente, Telesalud y Telemedicina son conceptos que los especialistas del cuidado de la salud usan como sinónimos, lo cual es erróneo, ya que cada uno de ellos presenta sus propias características, sin apartarse del tema central que aportan al avance tecnológico en los servicios de salud a distancia.

Para llevar a cabo este apoyo remoto se necesita de un sistema que permita el intercambio de información entre varias localidades, mismo que se podrá realizar mediante el uso de enlaces de Internet e Internet2, así como de instrumentación médica con interfaz a computadoras, y una base de datos que contenga la historia clínica de los pacientes, esencial para un diagnóstico completo confiable.

Con respecto al objetivo general de esta tesis, la razón de este capítulo es presentar una descripción acerca de las definiciones técnicas y médicas sobre Telesalud y Telemedicina, así como su estado actual en el mundo y en nuestro país, para conocer el avance de la tecnología de redes de comunicaciones en el campo de la salud. Asimismo, se presenta el estado del arte de la Calidad de Servicio en Telesalud y las características más importantes para brindar un mejor servicio. Por último, se presenta la descripción de ejemplos de

transmisión de aplicaciones médicas a distancia, los cuales corresponden a la base de este trabajo.

II.1 Definiciones técnicas y médicas

Los avances tecnológicos están modelando nuevos paradigmas en las relaciones entre los individuos. Estos cambios tienen una influencia directa sobre la provisión de los servicios de salud, reemplazando en muchos casos la forma tradicional en que se ejerce la medicina por la oferta de servicios médicos a distancia en tiempo real. Estas acciones se definen en inglés como *Telemedicine*, *Telehealth* o *Telecare*. En español, es común que se mencione el concepto de Telemedicina en forma general, si bien cada uno de los términos anglosajones presenta particularidades que le son propias. Por estas razones es necesario definir cada uno de estos conceptos para su mejor comprensión durante el desarrollo de este trabajo.

II.1.1 Telesalud

De acuerdo a [Gómez, 2007], la Telesalud es un “*sistema computarizado que permite la transmisión y recepción de señales de audio, video y datos utilizando algún medio de telecomunicación como satélite, fibra óptica, línea telefónica digital o red (LAN/WAN)*”. De acuerdo a esta definición, la Telesalud es un concepto más amplio que la atención médica a distancia o Telemedicina.

Sus áreas son teleprevención, telediagnóstico, teleadministración, telecapacitación entre otras.

Aunque los beneficios que aportan las aplicaciones de Telesalud son múltiples, la más importante es la mejora de la Calidad de Servicio al paciente, debido a que facilita su atención integral como consecuencia de dos aspectos. El primero es con respecto a que Telesalud es un servicio que fomenta la equidad llevando la atención a las áreas aisladas, y esto trae consigo el acceso a todos los niveles asistenciales. En segundo lugar, la Telesalud tiene como misión brindar apoyo científico y tecnológico a los profesionales del cuidado de la salud con el fin de mejorar el contacto entre profesionales, así como aumentar el conocimiento de salud de la población y fomentar el autocuidado de las personas.

II.1.2 Telemedicina

Según la Organización Mundial de la Salud en [ITU Cuestión J/16, 2004], la Telemedicina se define como:

“El suministro de servicios de atención en salud, en los que la distancia constituye un factor crítico, por profesionales que apelan a las tecnologías de la información y de la comunicación con objeto de intercambiar datos para hacer diagnósticos, recomendar tratamientos, así como prevenir enfermedades y heridas, además de la formación permanente de los profesionales de atención de salud y en actividades de investigación y evaluación, con el fin de mejorar la salud de las personas y de las comunidades en que viven.”

La Comisión Europea define la Telemedicina como “*El acceso rápido a expertos médicos de manera compartida y distante, mediante tecnologías de comunicaciones e información sin importar la localización del paciente o la información relevante.*” [ITU Cuestión J/16, 2004].

II.1.3 Cibersalud

La cibersalud es un término acuñado por la ITU [ITU Cuestión J/16, 2004] que pretende englobar las definiciones de Telesalud y Telemedicina en una sola palabra, referidas al uso de las tecnologías de información y comunicación a favor de la prestación de servicios de salud.

Por lo tanto, el cuidado de la salud a distancia involucra servicios y tecnologías heterogéneas, que incluyen a las comunidades, las bases de datos, recursos de Internet, y la transmisión y archivo de imágenes, abarcando disciplinas que exceden al concepto tradicional de la medicina con un impacto sobre los individuos y las comunidades que reciben este tipo de cuidados.

Para fines prácticos, se utilizará el término “Telesalud”, ya que es el más difundido en español, aunque dejando en claro que se desea abarcar todas las posibilidades mencionadas.

II.2 Estado actual de la Telesalud a nivel mundial

La utilidad y la importancia de la Telesalud son cada vez más evidentes. Algunas de sus ventajas son: la disminución de los tiempos de atención de diagnósticos y tratamientos

más oportunos, la mejora en la Calidad de Servicio, la reducción del costo de transporte de pacientes, la atención continua y los tratamientos más apropiados, la disminución de riesgos profesionales, la posibilidad de interconsulta y una mayor cobertura entre otras, como se mencionó anteriormente.

La situación de la salud en el mundo ha mejorado de manera continua durante la última década, como lo comenta [Salazar, 2000]. Lo anterior debido a la mayor existencia de programas de salud pública y de servicios de salud a la suma de cambios ambientales, socioculturales y tecnológicos e iniciativas de integración subregionales y regionales que están echando abajo las barreras físicas que separan los países mediante su integración virtual.

El uso de la Telesalud es cada vez más frecuente en los países desarrollados, no sólo para la transmisión de imágenes (posiblemente la aplicación más difundida), sino también en especialidades como neurología y neurocirugía, dermatología e, incluso, psiquiatría. Algunas ventajas sobre la práctica habitual de la Telesalud es el hecho de evitar la necesidad de desplazarse, la reducción en los costos médicos y el ahorro de tiempo para los médicos, dado que las “videovisitas” son mucho más cortas que las consultas convencionales al evitar los saludos y despedidas de cortesía. Sin embargo, según [Salazar, 2000] todavía existen deficiencias en algunos casos específicos en América Latina, siendo la región del mundo donde se distribuyen los ingresos de la manera menos equitativa, a lo que se suma el incremento en la movilidad de las personas y los desplazamientos por la violencia doméstica y político-social.

II.3 Estado actual de la Telesalud en México

El Programa Nacional de Telesalud de México se inicia en 1978 como apoyo a las comunidades rurales, mediante radioenlaces en banda civil. En 1981 el Instituto Mexicano de Telecomunicaciones hace un estudio sobre la posibilidad de aplicar la nueva generación de satélites nacionales al servicio de salud. Se hicieron análisis para su aplicación en hospitales, clínicas, escuelas de medicina, sistemas móviles y rurales.

En 1995 se inició un programa piloto [Gómez, 2004] para enlazar un Centro Médico Nacional con un hospital regional del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE). Esta prueba piloto utilizó el satélite Solidaridad y trabajó a 384 kbps.

Ante la necesidad de atender a las comunidades más apartadas del país, el ISSSTE creó el Programa de Telemedicina, buscando dar una mejor atención médica especializada. Con esta iniciativa, se enlazaron mediante videoconferencia las unidades médicas distantes del interior del país con Hospitales Regionales para realizar consultas de forma interactiva.

Con la aplicación del Programa Nacional de Telesalud se ha podido detectar según la clasificación de los niveles de salud de [Gómez, 2004], que el primer nivel de atención (clínica rural), es fundamental para mejorar la atención médica y apoyar a la medicina preventiva, evitando con esto la complicación de los casos clínicos. La clínica de 2do nivel de atención generalmente se establece en una ciudad de pequeño a mediano tamaño, como una clínica-hospital con médicos especialistas básicos así como la presencia de enfermeras especializados. La clínica de 3er nivel por lo general se ubica en una gran urbe y presenta servicios médicos de muy alta especialidad. Por último, el Centro Médico Nacional (CMN)

es uno de los mejores lugares en México, donde se lleva a cabo la investigación del mundo médico.

Actualmente el ISSSTE, mediante el Programa Nacional de Telesalud, enlaza distintas unidades hospitalarias para realizar consultas e intervenciones quirúrgicas con la asistencia de especialistas, en tiempo real y de forma interactiva. Para este programa se ha fomentado la creación de bibliotecas virtuales que permiten a médicos y enfermeras acceder vía Internet a la información médica actualizada de las principales instituciones del mundo. También cuenta con los servicios de teleenseñanza, un programa de educación y capacitación a distancia en el área de la salud.

El programa actual no ha incluido hasta la fecha plataformas en el primer nivel de atención, debido a la complejidad tecnológica de las plataformas existentes y los costos de las mismas. Sin embargo la UNAM, a través de la Facultad de Ingeniería, ha creado una línea de investigación enfocada a la Bioingeniería, en donde se han llevado a cabo programas de estudio y proyectos de investigación que coadyuvan a mejorar la calidad de los servicios de la salud con apoyo de la Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica.

II.4 Calidad de Servicio en Telesalud

El brindar servicios de salud de calidad a la sociedad representa uno de los mayores retos del gobierno mexicano en todos los niveles. Los problemas demográficos aunados a la situación económica del país provocan que los servicios de atención a la salud en ocasiones sean insuficientes, tanto en cantidad como en calidad. En efecto, la disponibilidad de especialistas y de equipo médico no alcanza a cubrir la demanda de la población.

En este caso, se observa que está aumentando la disponibilidad de información a través de recursos digitales, en temas relacionados con la información sobre medicina y salud [González, 2005]. Sin embargo, no todos los recursos digitales presentes en la Internet son fiables, por lo que es necesario establecer estándares de control de calidad, como lo menciona [Choi, 2006]:

“Existe un número de problemas de estandarizaciones sin resolver que necesitan ser dirigidas antes de que la Telemedicina pueda ser usada en la manera más eficiente y efectiva posible. [...] A fin de proveer servicios de cuidado de salud, se requiere la adopción de estándares.”

En el caso de información relacionada con la salud, la falta de criterios y conocimientos médicos para discernir los contenidos, puede suponer no sólo una desorientación para el usuario o el profesional de la información, sino también un efecto perjudicial sobre la propia salud de la persona. De ahí que se haya planteado, desde la propia comunidad médica, que sea el mismo médico el que actúe a modo de filtro, entre la información presente en la red de Internet y los mismos pacientes o población general.

La definición de cuáles deben ser los criterios de calidad, sobre medicina y salud, se considera como un objetivo necesario en la investigación. Se suma además, que no todos los métodos para evaluar la calidad de la información médica en Internet son iguales, y por tanto, sus resultados difieren y resultan complejas las comparaciones. Por lo tanto, el impacto de Telesalud en Internet es sensible a la transmisión de información médica, especialmente en el usuario afectado por la enfermedad, es decir, en el paciente y en su entorno social o familiar según [González, 2005]. Por esta razón, la demanda de precisión y rigor de la transmisión de información médica suscitan el interés de su estudio.

II.5 Transmisión de las aplicaciones médicas

La transmisión de información médica digital a través de las tecnologías de la información y comunicación, refiriéndose más propiamente a Internet básico e Internet2, debe ser completamente fiable, para lo cual es importante la selección de tecnologías digitales e información digital con calidad suficiente y, por lo tanto, de utilidad para el especialista en el cuidado de la salud.

A continuación se presenta el tipo de información médica que se manejará en el desarrollo de este trabajo, la manera de cómo se transmite esta información y el soporte que se necesita para llevar a cabo esta transferencia de información médica.

II.5.1 Maletín Médico

Para la realización de un diagnóstico eficiente a distancia, se cuenta con el apoyo de maletines digitales de diagnóstico (proyecto de la Facultad de Ingeniería de la UNAM), para brindar información a los médicos de recintos de segundo y tercer nivel de atención, de acuerdo a la clasificación de [Gómez, 2004]. El objetivo es enviar información biomédica que permita proporcionar un diagnóstico con un mayor poder resolutivo.

El maletín médico, de acuerdo a [Villalpando, 2001], es un conjunto de módulos de instrumentación médica que, haciendo uso de la computadora portátil, ofrece no sólo las características básicas de la instrumentación médica tradicional, sino además la facilidad de analizar y enviar remotamente la información fisiológica adquirida del paciente con fines de llevar a cabo tareas de telediagnóstico, como se muestra en la Figura 1.

Para el maletín digital, se considera que el almacenamiento de las señales se realiza en forma de archivos de sonido, de vectores de datos o de imágenes. Para lograr esto se debe implantar formatos de compresión adecuados para no perder información importante sin ocupar espacio de almacenamiento excesivo, dado que esta información deberá ser transmitida por canales de baja velocidad. Para una información más a detalle sobre estos formatos de compresión, consúltese el Apéndice C.



Figura 1. Maletín médico con los módulos principales que lo conforman [Viruete, 2005].

Los módulos principales que forman parte del maletín médico de acuerdo a [Villalpando, 2001] son los siguientes:

- Estetoscopio: se requiere para observar el funcionamiento del sistema cardiaco, respiratorio y/o digestivo. Se debe contar con audio de buena

calidad en el rango de las frecuencias bajas de 20 a 1600 Hz., dada la naturaleza del funcionamiento de los sistemas a estudiar.

- Monitor de movimientos fetales y pulso cardiaco fetal: es un equipo de gran sensibilidad destinado a detectar el latido cardiaco fetal desde las primeras semanas de embarazo hasta el alumbramiento. Este equipo se basa en el uso del efecto *Doppler*,² del cual se obtiene un sonido cardiaco nítido.
- Microscopio digital: se considera un protocolo en el que el médico o un asistente tome una muestra de tejido celular para realizar la prueba de Papanicolau. Para detectar el cáncer de cuello uterino se debe contar con los tintes y la metodología para barrer la muestra en dos tipos de aumento (10x y 40x). Además hay que almacenar las imágenes generadas de manera coherente y en formato donde no se pierdan datos de texto como tamaños y coloraciones.
- Dermatoscopio: captura imágenes de la piel con la finalidad de diagnosticar y atender enfermedades o heridas de piel, por lo que estas imágenes deben conservar todos los detalles necesarios para que se le facilite al dermatólogo la atención al paciente, y sea de la manera más adecuada.
- Electrocardiógrafo: capta la actividad eléctrica del corazón, y pueden ser almacenados mediante datos numéricos, lo que permite capturar una gran cantidad de datos. Esto permite determinar la precisión del convertidor a

² Efecto Doppler. Consiste en la variación de la longitud de onda de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento.

usar, para no perder datos y frecuencias necesarias para diagnosticar cardiopatías y otras afecciones.

Existe dentro del maletín otro módulo, la cámara de video que llevará a cabo la videoconferencia, y que es el punto central para el desarrollo de esta tesis, por tal razón se profundizará a continuación más sobre este tema.

II.5.2 Videoconferencia

Como sucede con todas las tecnologías nuevas, los términos que se emplean no se encuentran perfectamente definidos. La palabra “teleconferencia” está formada por el prefijo “tele” que significa distancia, y la palabra “conferencia” que se refiere a encuentro, de tal manera que combinadas establecen un encuentro a distancia. En el presente trabajo se llamará videoconferencia a la comunicación en dos sentidos de señales de audio y de video. La videoconferencia es un sistema de comunicación diseñado para llevar a cabo encuentros a distancia. Un ejemplo de este servicio es la telediagnos, que implica llevar a cabo un diagnóstico a distancia, o diagnóstico remoto. Es la técnica que mayor impacto causa, dadas las múltiples ventajas que presenta por su amplio aprovechamiento de la tecnología, que consiste en evaluar o asistir en la evaluación médica de un paciente desde un centro hospitalario que se encuentre distante, siempre y cuando los sitios a distancia tengan equipos compatibles.

Para hacer posible la videoconferencia se requiere de un medio electrónico (como radio, televisor o teléfono) que sea bidireccional y un canal de transmisión (cable coaxial, microondas, satélites o fibra óptica) por donde viaje la señal.

Los tipos de conexión entre equipos de videoconferencia se presentan a continuación:

➤ Punto a punto

La conexión es directa y sólo se realiza entre dos equipos de videoconferencia.



Figura 2. Conexión punto a punto en videoconferencia.

➤ Multipunto

Varios sitios participan en la reunión. Se requiere de un equipo especial adicional a los sistemas de videoconferencia llamado unidad multipunto, el cual permite la conexión de más de dos lugares durante la conferencia. Esta unidad multipunto es administrada por uno de los sitios, el cual enlazará a los demás sitios.

Conforme cada grupo participante toma la palabra, su imagen y su audio se reproducen en uno de los monitores de los demás sitios.

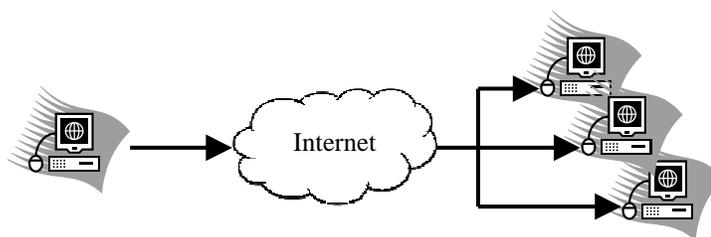


Figura 3. Conexión multipunto en videoconferencia.

Un sistema de videoconferencia típico consta de los siguientes componentes:

- Equipo de proyección/registro: comprende la cámara, un monitor de video o proyector, y dispositivos de audio.
- Codificador/Decodificador, CODEC: se encarga de codificar las entradas de audio, video y datos del usuario, y multicanalizarlas, para posteriormente transmitir una señal digital dirigida al usuario remoto. En el otro extremo, el CODEC respectivo recibe la cadena de datos digitales (provenientes del emisor), y separa (demulticanaliza) las señales de audio, video y datos para decodificar la información y visualizarla.
- Adaptador de comunicaciones: enlaza la salida del CODEC con la línea de transmisión de datos.
- Tablero de control: controla la inicialización de la llamada así como la configuración de las características de la misma.

Además de estos componentes, la videoconferencia se basa en la recomendación H.323, explicada más a detalle en el Apéndice A, donde especifica los requerimientos técnicos para llevar a cabo las aplicaciones en tiempo real.

II.5.3 Diagnóstico por Imagen

El expediente médico es el conjunto de imágenes generadas por cada paciente a través de un aparato médico de adquisición, con la ayuda de la digitalización (se explica en el Apéndice C) dentro del telediagnóstico, y que son enviadas a través del maletín médico.

La transmisión del expediente médico no se realiza en tiempo real y posee una medida fija de 14.7 MB, de acuerdo a un trabajo previo realizado en CICESE [Cabanillas, 2005]. Las imágenes digitales estipuladas en el trabajo mencionado anteriormente se muestran en la Figura 4, de las cuales no todas se pueden presentar en la misma carpeta de diagnóstico, sino las que realmente ayuden al diagnóstico del paciente.

En este apartado se puede mencionar el concepto de *almacenamiento digital*, también conocido como ficha electrónica, la cual consiste en la implementación del respaldo digital del expediente médico, con el fin de agilizar procesos internos y disminuir el espacio físico de almacenamiento de los mismos. Además de esto, abre posibilidades de obtención de diagnósticos que no sea en tiempo real, sino por medio de correo electrónico o la publicación de resultados de exámenes vía web para ser consultados por los pacientes.

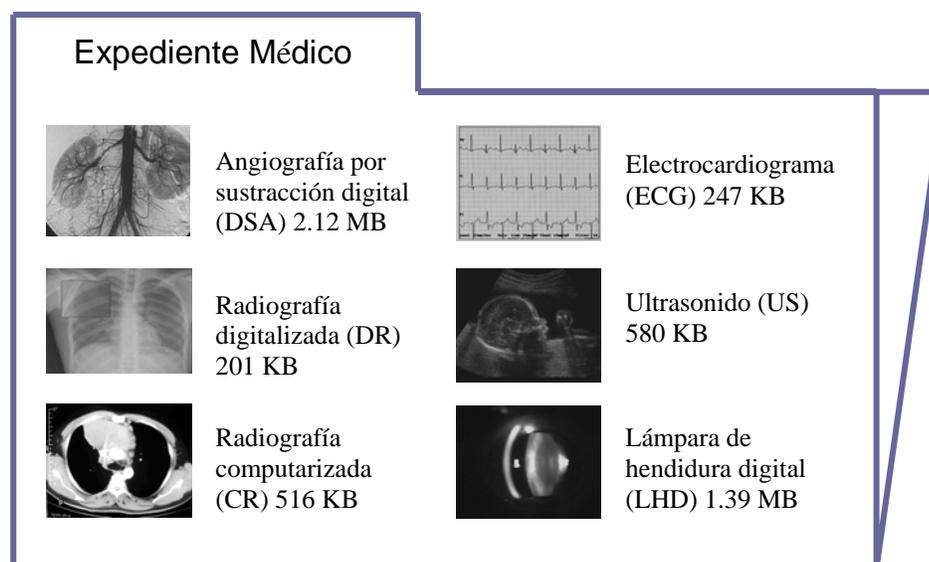


Figura 4. Imágenes digitales de un expediente médico.

II.5.4 Diagnóstico Auditivo

El estetoscopio digital es un módulo del maletín médico como se mencionó anteriormente, del cual se puede extraer una señal biomédica que representa una información médica de algún sistema biológico en investigación.

La señal biomédica del estetoscopio digital pertenece a las señales bioacústicas, de acuerdo a la clasificación de [Bronzino, 2000], las cuales se generan por fenómenos como el flujo de sangre a través de las válvulas del corazón. Aquí, el aire que pasa por las vías respiratorias, propagándose por un medio biológico y se adquieren en la superficie utilizando transductores acústicos, como micrófonos. Esta señal maneja diferentes intervalos de frecuencia específicamente para cada diagnóstico que se desee realizar, como lo establece el equipo de la empresa SCOTTY en la Tabla I.

Tabla I. Rango de frecuencias para una señal biomédica.

Órgano a diagnosticar	Área del cuerpo ³	Rango de frecuencia
Corazón	1	20 – 250 Hz
	2	20 – 500 Hz
Intestino	1	20 – 250 Hz
	2	20 – 500 Hz
Pulmón	1	70 – 1000 Hz
	2	150 – 1600 Hz
	3	250 – 1600 Hz

³ El área del cuerpo se refiere a la parte donde el médico especialista realiza la auscultación para el diagnóstico.

La transmisión de la señal bioacústica se lleva a cabo en tiempo real cuando se realiza un telediagnóstico a través de la videoconferencia. En este caso es importante señalar la importancia del rango de frecuencias, como se analizará más adelante, porque a través de él se establecerá el ancho de banda que empleará la señal para ser transmitida. A continuación, en la Figura 5, se muestra un esquema de [Bronzino, 2000], donde se presenta a manera de bloques las diferentes etapas que pasa una señal biomédica para su proceso de digitalización.

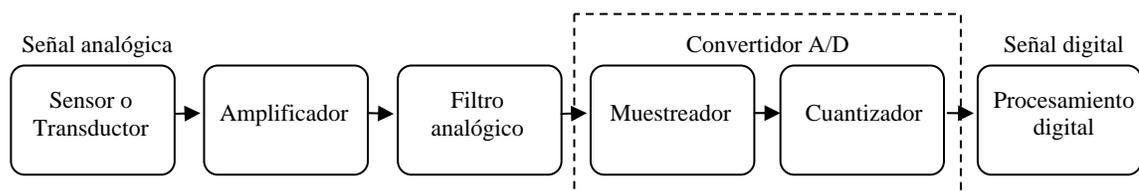


Figura 5. Diagrama a bloques del procedimiento de adquisición de una señal biomédica [Bronzino, 2000].

La etapa más significativa en este proceso es la de muestreo y cuantización, debido a que las que la preceden se refieren al diseño del dispositivo, y en este caso el objetivo a analizar es la transmisión de la señal. Por lo tanto, en este proceso se determina el ancho de banda por medio del rango de frecuencias. Entonces, considerando el Teorema de Shanon [Bronzino, 2000], la señal biomédica, que es una señal continua, puede ser reconstruida completamente de las muestras tomadas, si y sólo si la tasa de muestreo es mayor que dos veces el ancho de banda de la señal.

El fenómeno más trascendente es el traslape⁴ espectral originado por el sobremuestreo, que puede presentarse en caso de que el proceso no sea el correcto, y la consecuencia más delicada sería un diagnóstico poco fiable.

⁴ El traslape (aliasing) se produce cuando la señal no es recuperable mediante un filtrado paso bajas, es decir, los términos individuales del Teorema de Muestreo se superponen. [Oppenheim, 1998]

MODELADO DE REDES TERRESTRES PARA APLICACIONES MÉDICAS

Los avances en las tecnologías de información, en este caso Internet básico e Internet2, han creado un nuevo escenario en el acceso a la información y a la globalización de las comunicaciones, los negocios y los servicios. El sector salud está inmerso en esta corriente, lo que se aprecia con el crecimiento y consolidación de la Telesalud.

Los sistemas de telecomunicaciones para la salud podrán cambiar en cuanto a su implementación, pero la especificación de éstos deberá considerar los elementos permanentes.

El impacto de las redes de comunicaciones sobre el sector salud dependerá de cuánto sea el desarrollo de estas tecnologías. Por tal razón, se presentan en este capítulo las características de Internet básico e Internet2. Posteriormente se especifica qué parámetros de QoS son los que más afectan a las aplicaciones médicas definidas en el capítulo anterior, con respecto a su transmisión sobre estas tecnologías. Entonces, mediante el estudio de estos parámetros, se analizará de qué forma degrada la tecnología a cada aplicación médica, y por lo tanto se podrán clasificar de acuerdo a esta degradación.

III.1 Tecnologías de red

El flujo de la información que se incorpora en la actividad diaria facilita y agiliza todos los procesos para el intercambio de esta información. Utilizando la informática, se accede a la información necesaria para contar con un campo de conocimientos más íntegro. Para entender mejor de esta necesidad en cada situación, es necesario identificar cada una de las tecnologías de información, por lo tanto, a continuación se definen Internet básico e Internet2, y las características que comparten ambas tecnologías.

III.1.1 Internet básico

Internet es una *red de redes*⁵, que comprende un sin fin de protocolos, dentro de los cuales los más destacados son TCP/IP y UDP, los cuales son explicados en el Apéndice D. Debido al valor económico de Internet para acceder a la información, esta tecnología presenta algunas características que lo hacen deficiente, en comparación con otras tecnologías, en el momento de que esta información es recibida al otro extremo de la línea. La característica más destacable de Internet es la disciplina de la cola de tráfico FIFO (First In First Out), porque guarda los paquetes cuando se congestiona la red y envía éstos en el orden en que van arribando, es decir, no toma decisiones acerca de las prioridades de los paquetes.

Debido a lo anterior, el comportamiento de Internet básico asume el mecanismo de servicio conocido como Mejor Esfuerzo, donde la red asigna un ancho de banda entre todos los

⁵ Red de redes. Es una red formada por la interconexión de otras redes menores.

usuarios de la mejor forma en que se pueda, e intenta servir a todos sin hacer un compromiso explícito con ningún parámetro de QoS.

Los elementos de una red que manejan solamente el mecanismo de Mejor Esfuerzo, pueden ser modelados con una cola de tráfico M/M/1/K [Papoulis, 1991] como se expresa en la Figura 6, debido a que el arribo es considerado aleatorio e independiente (M) y los paquetes son atendidos por un servidor de manera aleatoria e independiente (M) y el tamaño de cola es finito (K).

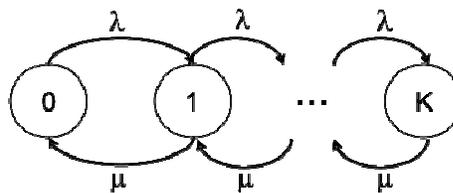


Figura 6. Modelo de Markov.

En la Figura 6 se define λ como la tasa promedio de llegadas y μ como la tasa de salidas, donde de 0 a K representan los estados de transición.

III.1.2 Internet2

Internet2 no reemplaza a Internet básico, simplemente presenta una mejora en la infraestructura de comunicaciones, como se puede mencionar a partir de su:

- Redes dorsales (*backbone*) de alta velocidad
- Calidad de Servicio
- Multicasting

En el caso de la degradación se debe llevar a lo mínimo en las aplicaciones en tiempo real, como es el caso de videoconferencia que depende del tiempo de transmisión. Por lo tanto, Internet2 ofrece un gran ancho de banda, que da la posibilidad de asignar prioridades a las aplicaciones y lograr que el retardo sea del orden de unos pocos milisegundos. De esta manera y al contrario de Internet básico, en Internet2 se garantiza que la totalidad de los paquetes lleguen a tiempo, y los paquetes de archivo de datos, en este caso del expediente médico, se transmitirán cuando el canal esté libre.

Para conocer más sobre la Calidad de Servicio de Internet2, se analizarán los Servicios Diferenciados (en inglés *DiffServ*), descritos en el RFC⁶ 3260.

III.1.2.1 Servicios Diferenciados

Los Servicios Diferenciados realizan la reservación de recursos mediante una combinación de políticas de frontera, abastecimiento y una asignación de prioridades sobre el flujo de tráfico, con la finalidad de obtener la diferenciación de los servicios.

La arquitectura de DiffServ, como se muestra en la Figura 7, es un modelo donde el tráfico que entra a la red es clasificado y posiblemente condicionado en las fronteras de la red, así como asignado a diferentes comportamientos de flujo agregado, donde el tipo de procesamiento que reciban los paquetes va a depender del contenido del encabezado. Cada comportamiento de flujo agregado corresponde a un código DS (*DiffServ*), que se encuentra asignado sobre el campo ToS (*Type of Service*).

⁶ Las series RFC son el vehículo para la publicación de especificaciones técnicas y documentos de políticas producidos por IETF (Internet Engineering Task Force), el IAB (Internet Architecture Board) o el IRTF (Internet Research Task Force).

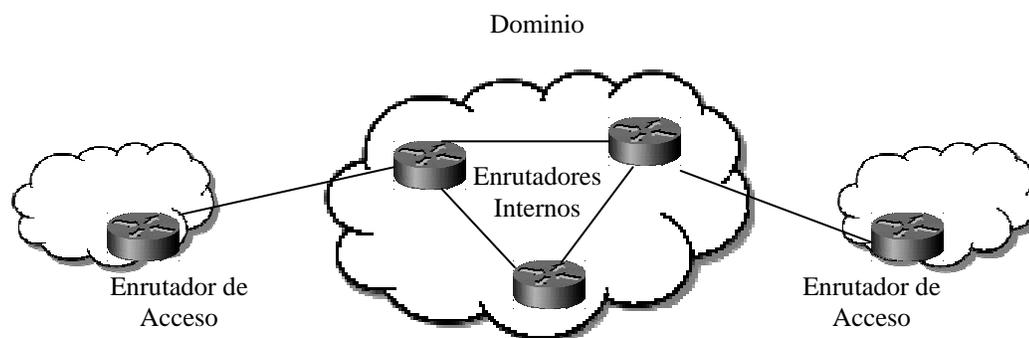


Figura 7. Arquitectura de Servicios Diferenciados.

Los nodos de acceso a la red se encargan de la clasificación y de especificar el contenido del campo DS (DiffServ). Los nodos interiores se encargan del reenvío de los paquetes dependiendo del contenido del campo DS.

Los nodos de acceso son los que se encuentran entre la red de la organización y la red del prestador de servicio, los cuales permiten interconectar la red de la organización con otras redes o con la misma Internet. Los nodos internos son los que se encargan de realizar las funciones de reenvío de paquetes de acuerdo a las políticas de calidad de servicio que se tengan especificadas.

Los nodos internos pueden manejar los paquetes en forma diferente dependiendo del contenido del campo ToS. En la Tabla II se puede observar que, de los 8 bits de este campo, solamente se utilizan los primeros 6 bits; los dos bits restantes se encuentran sin uso. Estos 6 bits forman el campo DS del encabezado del paquete IP. Cada una de las 64 (2^6) posibles combinaciones puede significar una forma diferente de tratar a los paquetes por parte de los enrutadores medulares. A cada una de estas posibles formas de tratar al paquete recibe el nombre de “*Per Hop Behavior*” (PHB).

Tabla II. Campo ToS de Servicios Diferenciados.

Bits							
0	1	2	3	4	5	6	7
DSCP						SU	

DSCP. DiffServ Code Point
 SU. Sin Uso

Entonces, la manera en que se lleva a cabo la diferenciación de servicios, es proyectando estos códigos a su PHB correspondiente en cada uno de los nodos de la trayectoria dentro de la red.

Para la realización de este trabajo se considerará el PHB de Tránsito Asegurado (*Assured forwarding*), porque provee un servicio más seguro que el mecanismo de mejor esfuerzo, controlando la preferencia de paquetes arrojados en el tiempo de congestión.

El Tránsito Asegurado, basado en el RFC 2597, es una extensión del esquema de RIO, el cual se basa en el Detector Temprano Aleatorio (RED), donde se realiza la diferencia al momento de arrojar los paquetes durante la congestión del *router*.

III.1.3 Características compartidas de Internet básico e Internet2

De acuerdo a los apartados anteriores, Internet básico e Internet2 poseen características muy diferentes, pero para el envío de información multimedia, estas dos

tecnologías utilizan la misma estructura de encabezados que llevarán la información de datos, audio y/o video en tiempo real.

Para cumplir el objetivo de esta tesis es necesario simular estas tecnologías, y para ello se requiere que los resultados sean los más próximos a la realidad. Por esta razón es necesario que ambas tecnologías cuenten con un tráfico de fondo. Es debido a estas dos características que Internet básico e Internet2 presentan similitudes. A continuación se explican más a detalle cada una de ellas.

III.1.3.1 Envío de Información Multimedia

El método estándar de transporte para el envío de información multimedia a través de IP de acuerdo a los RFC 2508 y 3550, requiere de 3 encabezados para las capas de Protocolo de Internet (IP), Protocolo de Datagramas de Usuario (UDP) y Protocolo de Transmisión en Tiempo Real (RTP). Este último se presenta con más a detalle en el Apéndice D.

En la Figura 8 se presenta su organización,



Figura 8. Encabezado para aplicaciones en tiempo real.

La capa IP de 20 octetos es responsable sólo de transferir datos entre un par de huéspedes en Internet, mientras que la capa de UDP de 8 octetos es responsable únicamente de la

diferenciación entre múltiples fuentes o destinos asociados al huésped. Por último, RTP de 12 octetos es ejecutado en la parte superior de UDP para proporcionar la entrega de servicios extremo a extremo para datos, audio o video con características en tiempo real.

III.1.3.2 Tráfico de Fondo

El tráfico de fondo es muy diferente al tráfico que se modela tradicionalmente por medio de los procesos de *Poisson*. Estos se caracterizan por la ausencia de ráfagas, y su baja variabilidad, reflejadas en la independencia de las muestras, por consiguiente su modelado también difiere. En este trabajo el tráfico de fondo se modela por medio de una distribución de cola pesada (en inglés *heavy-tailed*).

En la manera usual y de acuerdo a [Luo, 2005], en este trabajo se denota la función de distribución acumulativa (*cdf*) de una variable aleatoria X como

$$F_X(x) = P[X \leq x] \quad (1)$$

y su función de densidad de probabilidad (*pdf*) asociada como

$$f_X(x) = F'_X(x) \quad (2)$$

lo cual es válido sólo cuando esta derivada exista. La distribución de una variable aleatoria X corresponderá a una cola pesada si

$$1 - F_X(x) = P[X > x] \sim x^{-\alpha}, \text{ como } x \rightarrow \infty, 0 < \alpha < 2. \quad (3)$$

Las distribuciones de cola pesada tienen un número de propiedades que son cualitativamente diferentes de las distribuciones más comúnmente usadas, como Poisson, normal o exponencial. Conforme decrementa el parámetro α , una gran porción arbitraria de masa de probabilidad puede presentarse en la cola de la distribución, es decir, una variable aleatoria que sigue a una distribución de cola pesada puede elevarse a los valores extremos con una probabilidad poco significativa.

La distribución de cola pesada más comúnmente usada, es la distribución Pareto, con *pdf* dada de acuerdo a [Luo, 2005] como

$$f(x) = \alpha k^\alpha x^{-\alpha-1}, \alpha > 0, k > 0. \quad (4)$$

Y su correspondiente *cdf* es

$$F(x) = P[X \leq x] = 1 - (k/x)^\alpha. \quad (5)$$

Utilizando las distribuciones de cola pesada, algunas variables, tales como transferencia de archivos por los protocolos FTP, HTTP y SMTP resultan menos difíciles para modelar.

III.2 Parámetros de QoS que degradan las aplicaciones médicas

Los parámetros que normalmente se utilizan hoy en día en Internet son la pérdida de paquetes, los retardos y la variación del retardo entre otros, que más adelante, en este

mismo apartado, se establece cuál de los parámetros es el más crítico en cada aplicación médica. Para este trabajo de tesis sólo se analizarán los parámetros de transporte que degraden a las aplicaciones médicas, en este caso videoconferencia que se reproduce en tiempo real, y que es el tema central de este trabajo.

Se debe considerar que un video con poca variación espacial entre cuadros, como es el caso de un telediagnóstico donde médico-paciente tendrán muy poco movimiento, será más robusto a pérdidas de paquetes y variación de retardo en el sentido de que al médico le será más difícil notar la falta o retardo de la información. Por el contrario, aquellos videos con alta variación espacial entre cuadros, como videos de acción o una telecirugía, serán muy sensibles ante estos factores.

Por lo tanto para el desarrollo de esta tesis se considerarán videos con alta variación para llevarlo al extremo y de esta forma conocer realmente los límites de parámetros de QoS en aplicaciones médicas.

III.2.1 Probabilidad de Pérdida de Paquetes

La probabilidad de pérdida de paquetes (*PLR, Packet Loss Rate*) es la principal causa de degradación de la calidad, debido a la forma en que se codifica el video. Esta codificación se explica más a detalle en el Apéndice B, donde la pérdida de un paquete en un cuadro puede afectar a los cuadros siguientes. Por ejemplo, en el caso que sea un cuadro tipo I, la degradación de éste provocará la degradación de los subsecuentes cuadros, hasta la recepción de un nuevo cuadro I.

La probabilidad de pérdida de paquetes, establecida en esta tesis, dada en la ecuación 6, se define como la tasa del número de paquetes entregados con respecto al total de paquetes enviados.

$$PLR = \frac{PaqTx_{i-1,i} - PaqRx_i}{PaqTx_{i-1,i}} \quad (6)$$

Donde el subíndice i representa el nodo correspondiente en la topología de red, que puede ir desde 1 hasta N . $PaqRx_i$ indica los paquetes recibidos en el i -ésimo nodo y por último, $PaqTx_{i-1,i}$ son los paquetes enviados del i -ésimo nodo anterior al de la recepción.

En [Liang, 2003] se menciona que no sólo importa el promedio de paquetes perdidos, ya que también interesa la distribución de dichas pérdidas, es decir, la distorsión total debido a dos pérdidas consecutivas es mayor que si las pérdidas fuesen independientes.

El CODEC utilizado es otro factor determinante en la influencia de las pérdidas sobre la calidad de video. Dado que el tráfico de videoconferencia se implementa sobre UDP (RTP sobre UDP), el único control que se puede realizar sobre la pérdida de paquetes se da en las puntas de la transmisión. Los CODEC implementan técnicas de corrección de errores para hacerlos transparentes al usuario, utilizando algoritmos de interpolación sobre los datos recibidos para generar la información perdida.

Sin embargo, cuando las pérdidas superan el umbral que se establece para las aplicaciones médicas, o cuando se dan ráfagas, dejan de ser útiles las técnicas mencionadas. Por esta razón, resulta de gran interés el análisis de este parámetro de calidad en las tecnologías de red.

III.2.2 Variación de Retardo

La variación de retardo o *jitter* se define como la diferencia en el tiempo de tránsito relativo para dos paquetes de acuerdo al RFC 3550, esto es, la diferencia entre el tiempo que se transmite un paquete y su tiempo de llegada al otro extremo del enlace.

Si S_i es el tiempo en que se transmite el paquete i , y R_i es el tiempo de llegada de este paquete, entonces para dos paquetes i y j , la diferencia D está definida como:

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i) \quad (7)$$

Lo anterior define que el jitter se calcula continuamente conforme llega cada i -ésimo paquete, usando la diferencia D para cada paquete y el paquete anterior como se observa en la siguiente ecuación:

$$J_i = \frac{J_{i-1} + [|D(i-1, j)| - J_{i-1}]}{16} \quad (8)$$

Para minimizar los efectos del jitter, se implementa un almacenamiento temporal (en base a buffers) de paquetes en el receptor, y de esta manera enviar de forma síncrona al decodificador los bloques codificados en el emisor. El uso de buffers en el receptor también soluciona el problema de la llegada de tramas RTP fuera de orden, chocando los números de secuencia de éstas. La desventaja que presenta el uso de buffers en la recepción es el aumento del retardo fijo total de extremo a extremo.

En ausencia de pérdidas y con retardo fijo entre paquetes, la decodificación se realiza en tiempo y forma, resultando en una reproducción suave y continua del video. En el caso del jitter, la variación del tiempo entre arribos hace que la decodificación no sea realizada en el momento correcto y, dependiendo de qué tan grande sea dicha variación, se puede llegar a considerar que el paquete se ha perdido. En este caso, suponiendo un enlace entre médico-paciente, el médico vería la imagen del último cuadro decodificado congelada hasta la llegada del próximo cuadro, como lo describe [Claypool, 1999]. Por esta razón se debe tener precaución debido a que se realiza un telediagnóstico, y cualquier detalle que se pierda es de suma importancia. Entonces, el cuadro retrasado será reproducido en un tiempo menor al requerido para mantener la secuencia temporal con el próximo cuadro.

En el caso de las pérdidas, además de tener el efecto de congelamiento de la imagen se agrega el problema de la necesidad de los cuadros anteriores para la decodificación de los siguientes.

Por lo tanto, se tiene que los efectos de las pérdidas y del jitter resultan similares, en cuestión de cómo lo percibiría el médico.

III.2.3 Retardo

En las aplicaciones en tiempo real⁷, la fuente toma la señal, la convierte en paquetes y la transmite por la red. La red introduce un retardo que debe ser tratado en el receptor. Para poder analizar correctamente los paquetes, la aplicación necesita saber a priori el máximo retardo que los paquetes pueden experimentar.

⁷ Un sistema de tiempo real es aquel capaz de procesar una muestra de señal antes de que ingrese al sistema la siguiente muestra.

El retardo se define de acuerdo a [Papoulis, 1991] como,

$$T_{wt} = \frac{\sum_{i=1}^{A(t)} T_{wi}}{A(t)} \quad (9)$$

Donde T_{wt} es el tiempo total de los paquetes que comprenden desde su llegada hasta la salida en el sistema, T_{wi} es el tiempo de permanencia del i -ésimo paquete en el sistema y por último, $A(t)$ representa al número total de paquetes que llegaron al sistema en $(0,t]$. Cabe mencionar que la expresión anterior se basa en el Teorema de Little [Papoulis, 1991], el cual relaciona el retardo con el número de paquetes en el sistema y se aplica en todos los sistemas.

El retardo puede afectar las prestaciones de las aplicaciones en dos maneras. Primero, el tiempo de retardo determina la latencia de la aplicación. Segundo, el retardo individual de los paquetes puede hacer que la fidelidad decaiga si se excede el tiempo de retardo determinado. En este caso, la aplicación puede demorar la ejecución para reproducir estos paquetes retrasados (lo cual introduce a que haya una distorsión), o bien simplemente descartarlos, presenciando paquetes perdidos y crear una señal incompleta.

La Figura 9 muestra el modelo de un sistema de videoconferencia. El retardo extremo a extremo (en inglés *end-to-end*) de un sistema es el tiempo transcurrido desde que una imagen de video es capturada por la cámara de video al extremo transmisor, hasta cuando ésta es desplegada en el monitor del extremo receptor.

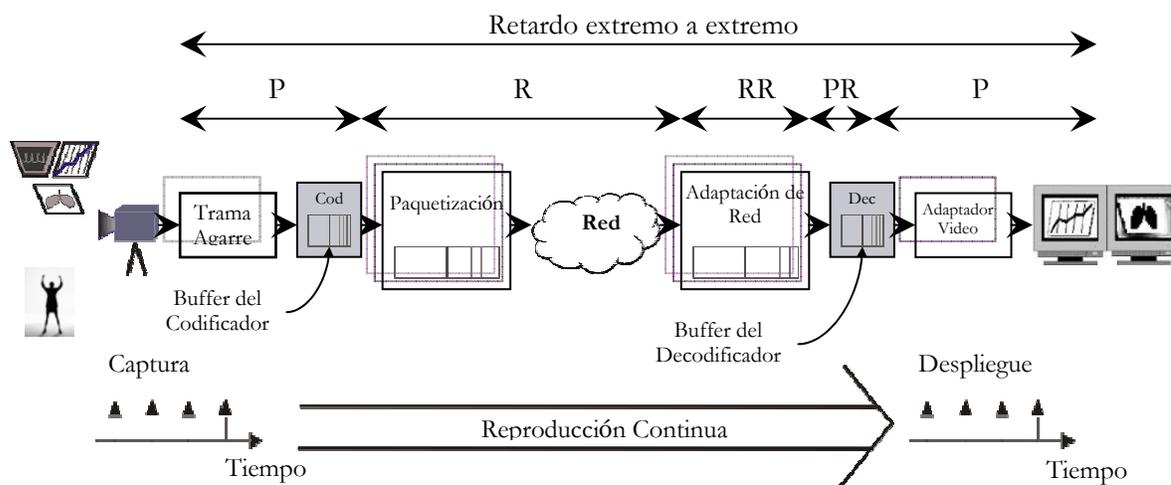


Figura 9. Modelo de un sistema de videoconferencia [Baldi, 2000].

De acuerdo a [Baldi, 2000], el retardo end-to-end es modelado con cuatro componentes de alto nivel cuyos valores dependen del sistema de configuración. En la Figura 9 se presenta qué función en el sistema introduce cada componente de retardo.

- a) Retardo de Proceso (P), se introduce en los extremos del transmisor y receptor, el cual comprende el tiempo que se emplea en comprimir y descomprimir imágenes.
- b) Retardo de la Red (R), es el tiempo requerido para mover paquetes de una fuente a otros participantes de videoconferencia.
- c) Retardo de Proceso de Re-sincronización (PR), cancela las variaciones de retardo generando los paquetes de video comprimido.
- d) Retardo de Re-sincronización de la Red (RR), cancela las variaciones del retardo que se experimenta en la red, es decir, el jitter originado en los nodos de la red.

Los retardos que se introducen en cada instante pueden a su vez clasificarse en retardos fijos y variables. Por ejemplo, el retardo que se introduce por la red puede considerarse un retardo de transmisión fijo debido a las distancias, y un retardo variable debido a las condiciones cambiantes de la red.

En este trabajo se tratará sólo el retardo extremo a extremo para la obtención de resultados, debido a que el objetivo de esta tesis es sólo analizar el retardo total de transmisión y no de cada componente de retardo.

Un aspecto importante en el momento en que se lleva a cabo la videoconferencia es la sincronización que debe existir entre el audio y video, por lo que el Comité Consultivo Internacional de Recomendaciones (CCIR), ahora ITU-R, en su recomendación 717 establece que,

“El tiempo de diferencia entre los componentes de audio y video no debe exceder 20 ms, en el caso de que el audio se encuentre por delante del video, o 40 ms si el audio está retrasado con respecto del video”.

III.3 Clasificación de las aplicaciones médicas de acuerdo a la QoS

Las aplicaciones médicas se ven afectadas de diferente forma por cada uno de los parámetros de QoS, por lo que es necesario distinguir cómo se le asocia esta degradación a cada aplicación, con el fin de poder visualizar de una manera más concisa al momento de analizar los resultados.

- a. Aplicaciones médicas intolerantes. Estas aplicaciones no se pueden adaptar a que un paquete se retrase, varíe su retardo o se pierda más que el límite predeterminado.

Por lo tanto, estas aplicaciones requieren un modelo de servicio denominado Servicio Garantizado.

Las aplicaciones médicas con estas características son:

- Videoconferencia: teleconsulta, telediagnóstico, teleeducación, telemonitoreo, teleasistencia.
- Diagnóstico auditivo: neumología y cardiología.

- b. Aplicaciones médicas intolerantes. Estas aplicaciones pueden tolerar que lleguen paquetes con un mayor retardo o con variación de retardo, pero no toleran paquetes perdidos. Estas aplicaciones requieren un modelo que proporcione un servicio bastante fiable pero no seguro.

Este tipo de aplicaciones pueden aceptar una merma en la calidad, presumiblemente por el menor coste de este modelo, ya que se incrementa el uso de los recursos de red.

- Diagnóstico por imagen, que comprende el expediente médico: radiología, dermatología, oftalmología, patología, endoscopia, ortopedia y ginecología.
- Correo electrónico entre médicos para apoyar al expediente médico con observaciones y/o dudas.

III.3.1 Calidad de Servicio en la videoconferencia.

Debido a que el sistema de videoconferencia es la esencia de este trabajo, se presenta en la Tabla III la clasificación de calidad para video en videoconferencia, donde se

califica la calidad de servicio que entrega este sistema, de acuerdo al tiempo límite de transmisión de los parámetros de calidad estudiados durante este capítulo.

Los valores que se establecen para determinar la calidad de video en la videoconferencia se tomaron de la siguiente manera: el retardo se basa en la recomendación de la ITU-T G.114, la cual se refiere al retardo máximo de transmisión extremo a extremo. Los valores de la variación de retardo corresponden al RFC 3550 y a la recomendación de la ITU-T H.263 para video. Por último, la tasa de paquetes perdidos se fijaron de acuerdo al SLA (*Service Level Agreement*) de [QWest, 2004], donde se establece la máxima tasa de paquetes perdidos. Estos límites de transmisión también fueron tomados de [Calyam, 2005], donde se presenta una caracterización del tráfico de voz y video en sistemas de videoconferencia, y se analiza el retardo, jitter y paquetes perdidos en la red. De igual manera se presenta esta misma clasificación con sus respectivos valores para audio, imágenes y datos.

Tabla III. Clasificación de calidad para video en videoconferencia.

Tiempo Límite de Transmisión para video Retardo, Variación de Retardo (Jitter) y Probabilidad de Paquetes Perdidos (PLR)		
Retardo Jitter PLR	0-150 ms 0-20 ms 0-0.5%	CALIDAD BUENA para llevar un video sin degradación.
Retardo Jitter PLR	150-300 ms 20-50 ms 0.5-1.5%	CALIDAD ACEPTABLE ⁸ bajo la condición de que ya no se garantiza una buena calidad en video.
Retardo Jitter PLR	> 300 ms > 50 ms > 1.5%	CALIDAD INACEPTABLE para propósitos generales de transmisión de video.

⁸ Esta calidad ACEPTABLE está en función del usuario, en este caso el médico, ya que es una medida subjetiva que depende de la vista y oído de cada individuo, lo cual es importante debido a que el diagnóstico resultante afecta al paciente.

A partir de la Tabla III se puede definir, mediante tonalidades, el área donde se encuentra la Calidad de Servicio de video para videoconferencia. De esta manera, un usuario transparente al conocimiento de parámetros de Calidad de Servicio, logra visualizar de una forma más representativa la calidad de video en videoconferencia. La Figura 10 presenta los parámetros de retardo, variación de retardo (jitter) y probabilidad de paquetes perdidos (PLR), los cuales forman un espacio de calidad 3-d que representa la calidad de video en videoconferencia de acuerdo a los valores de la Tabla III. La metodología de tonos de grises es la siguiente: el blanco corresponde a calidad Buena, el gris representa calidad Aceptable y el negro calidad Inaceptable para un servicio de video en videoconferencia.

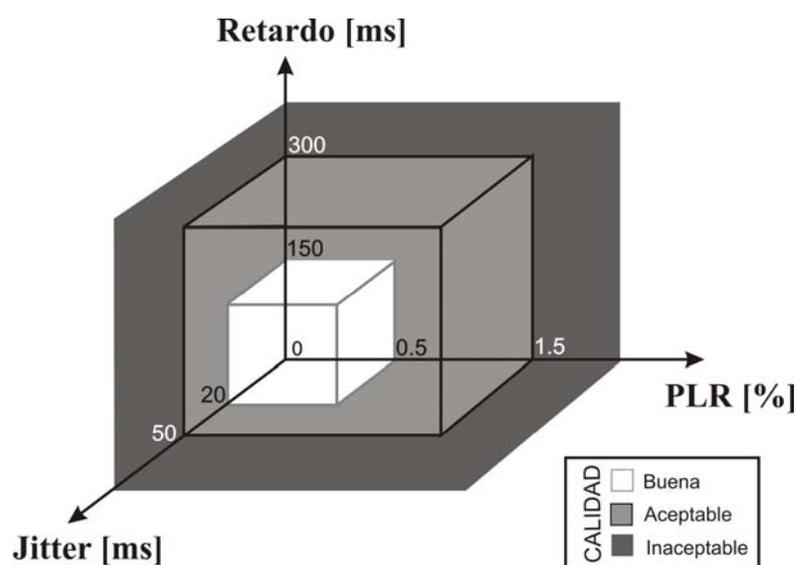


Figura 10. Calidad de Servicio para video en videoconferencia.

SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El estudio realizado en los capítulos anteriores resulta de gran utilidad para poder establecer los esquemas de simulación y, de cara al objetivo de esta tesis, este capítulo cumple con la presentación de estadísticas de los parámetros de Calidad de Servicio para cada red terrestre, Internet básico e Internet2. De esta manera se puede conocer qué niveles de calidad garantizan en la transmisión de aplicaciones médicas.

Para realizar la simulación se seleccionó el simulador NS-2, el cual es un simulador que integra algoritmos de encaminamiento y control de congestión con protocolos de transporte, sesión y aplicación. El objetivo principal de NS-2 es el estudio del comportamiento de distintos protocolos, así como de las relaciones de dependencia entre ellos, en escenarios compuestos por un elevado número de nodos.

La base principal del telediagnóstico es la videoconferencia, pero en este trabajo se consideró además el envío de un expediente médico y de una señal biomédica, de este modo se obtiene un telediagnóstico más completo y, por consiguiente, se manejan condiciones desfavorables las cuales degradan al sistema. Por lo tanto, la adición de estas aplicaciones en la transmisión, es para conocer qué tanto se puede degradar la videoconferencia en el telediagnóstico completo.

En este capítulo se presenta una tabla comparativa muy significativa para el desarrollo de la tesis, asimismo se muestra el modelado del tráfico de videoconferencia, y posteriormente se

presentan las consideraciones de simulación, así como los escenarios, tamaños de paquetes y ancho de banda, para Internet básico e Internet2. En cada uno de estos apartados se mostrarán las simulaciones correspondientes.

IV.1 Tabla de Valores Técnicos

La Tabla IV, “Valores Técnicos de Calidad de Servicio para diversas Aplicaciones Médicas”, fue desarrollada dentro del Grupo de Comunicaciones Inalámbricas del CICESE por [García, 2007] y la que suscribe, para validar y comparar los resultados obtenidos, debido a la inexistencia de una estandarización para Telesalud. En esta tabla se muestran los valores de cada parámetro de QoS basados en RFCs y recomendaciones de la ITU, mencionados en el Capítulo III, y en [Calyam, 2005]. Todos estos valores son relacionados con las respectivas aplicaciones médicas para garantizar niveles de calidad Buena, Aceptable o Inaceptable (siguiendo con la metodología de tonos de grises del Capítulo III), según sea la degradación de estos parámetros.

IV.2 Tráfico de Videoconferencia

Para realizar el modelado del tráfico de videoconferencia, se eligieron los CODECs explicados a detalle en el Apéndice A, que de acuerdo a sus características satisfacen las expectativas de este trabajo, siendo el H.263, G.722 y T.120 para video, audio y datos respectivamente.

Tabla IV. Valores Técnicos de Calidad de Servicio para diversas aplicaciones médicas.

Aplicación Médica	Recomendación ITU	Parámetros que Impactan en la Degradación		Parámetros Fijos		Áreas de Especialidad
Expediente Médico	Datos T.120	BER	10exp-3	BER	10exp-3	Diagnóstico por Imagen Radiología Dermatología Oftalmología Patología Endoscopia Ortopedia Ginecología
		PLR*	0-0.5% <u>0.5-1.5%</u> >1.5%			
Videoconferencia	Audio G.722	Jitter	<20 ms	BER	10exp-3	Diagnóstico Auditivo Neumología Cardiología
		Latencia	0-150 ms <u>150-300 ms</u> >300 ms			
	Video H.263	Jitter	0-20 ms <u>20-50 ms</u> >50 ms	BER	10exp-12	Diagnóstico por Audio y Video Teleconsulta Telediagnóstico Teleasistencia Telemonitoreo Teleeducación
		Latencia	0-150 ms <u>150-300 ms</u> >300 ms			
	Correo Electrónico	Latencia	1400 ms	BER	10exp-3	
CALIDAD	Buena	<u>Aceptable</u>	Inaceptable	<i>Parámetro Fijo</i>	*PLR Satelital <5%	  Grupo de Comunicaciones Habilitadas

IV.2.1 Video

La fuente de video considerada en este trabajo se basó en [Fitzek, 2000], debido a que trabajó con videos reales (noticieros, películas entre otros), de los cuales se seleccionó el más apropiado para este trabajo, en este caso un video de alta movilidad, de acuerdo a las consideraciones analizadas en el Capítulo III. Entonces, la fuente de tráfico para H.263 se realizó con un video real, del cual se emplearon videos codificados a 256 kbps y VBR, esto con la finalidad de analizar cuál de ellos proporcionaba una mejor calidad.

IV.2.1.1 Comparación entre 256 kbps y VBR

La comparación realizada con el CODEC H.263 respecto a la calidad garantizada a diferente tasa de bit, 256 kbps y tasa de bit variable (VBR) específicamente, se analizará a continuación por medio de la distribución de video, mostrada en la Figura 11,

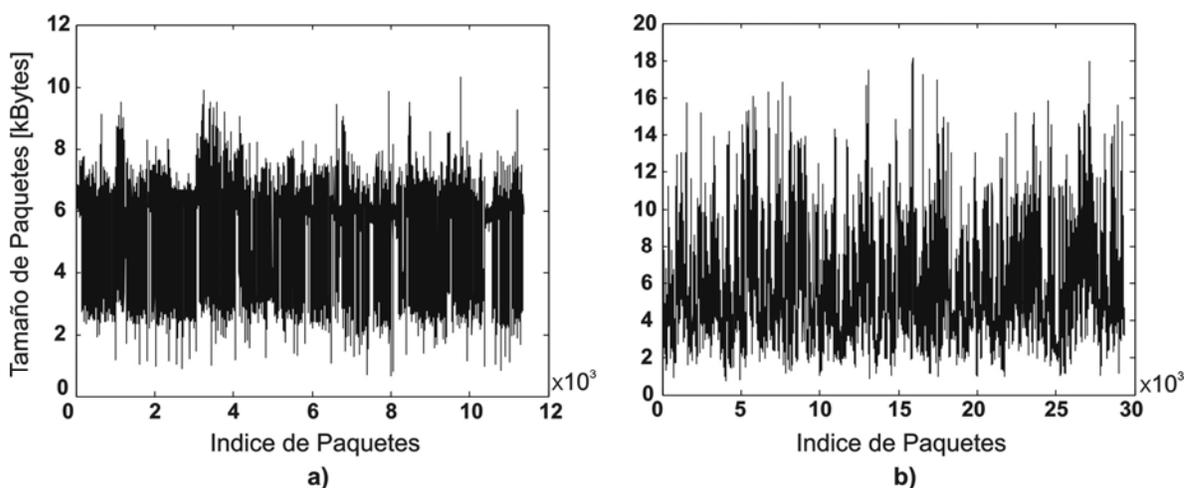


Figura 11. Distribución de video: a) 256 kbps y b) VBR.

La codificación VBR, mostrada en la Figura 11.b, se generó con los datos proporcionados por [Fitzek, 2000] mediante la interfaz gráfica de MATLAB, la cual tiene más alta proporción de compresión que la tasa correspondiente a 256 kbps, de la Figura 11.a. Sin embargo, VBR presenta más variabilidad en los tamaños de trama, lo que se debe a que se producen tasas más altas cuando se requiere codificar escenas complejas sin reducir la calidad de video. Entonces, VBR ahorra la tasa de bit de la escena lenta para aplicarlo después a la escena rápida, y conseguir así que esta última se vea lo mejor posible.

Lo contrario a este caso, en la Figura 11.a, a 256 kbps se maneja una tasa constante de bit (CBR), es decir, en todo momento maneja esta tasa de bit y en ciertas partes del video esos 256 kbps se están desaprovechando. Es aquí donde el VBR saca ventaja sobre esta codificación.

De acuerdo a estudios realizados anteriormente sobre videoconferencia [Aguayo, 2004 y Hurtado, 2004], el tráfico de video tiene un comportamiento tipo ON-OFF⁹, lo que se debe a que la fuente emite en ambos sentidos y siempre se está generando tráfico por parte del conjunto de protocolos H.323, definido en el Apéndice A. No hay que confundir que al mencionar un mecanismo ON-OFF, se está refiriendo a que en algún momento la videoconferencia dejará de emitirse. El proceso ON-OFF en el video, se refiere cuando existen ráfagas de bits, ya que el arribo de los paquetes es variable. En VBR se puede observar mejor este proceso.

En este mismo análisis comparativo, otro aspecto importante a destacar es la función de densidad de cada una de estas tasas de bit, mediante las cuales se observará cómo el tamaño

⁹ Proceso ON-OFF. Es alternar entre dos estados nombrados ON y OFF, se construye a base de una serie de tiempos observando el número de procesos en ON.

de los paquetes se distribuye en cada tasa de bit. Estas funciones de densidad se obtuvieron con los datos generados por [Fitzek, 2000] y se presentan en la Figura 12.

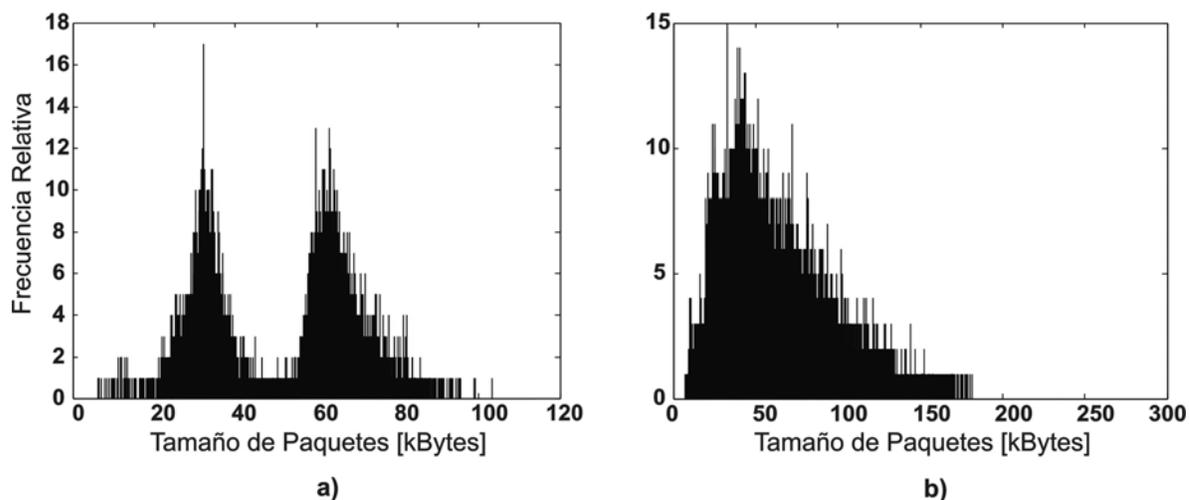


Figura 12. Función de Densidad de video: a) 256 kbps y b) VBR.

La Figura 12.a, correspondiente a 256 kbps, tiene una pronunciada distribución bimodal del tamaño de paquetes. Esto se debe a que el CODEC H.263 produce típicamente tramas P, las cuales se explican más a detalle en el Apéndice B, con un tamaño promedio de aproximadamente 30 kBytes, y tramas PB, con un tamaño promedio de 60 kBytes.

En lo que respecta a VBR, en la Figura 12.b, presenta una PDF gamma, como lo describe [Domoxoudis, 2004], la cual decae rápidamente (casi exponencialmente) a cero. Con estas funciones de densidad se demuestra el correcto funcionamiento de ambas tasas de bit.

Para concluir con este análisis comparativo, se realizó la transmisión de videoconferencia (VC), videoconferencia con expediente médico (VC+EM), videoconferencia con señal biomédica (VC+SB) y el conjunto de las tres (VC+EM+SB), entre la clínica de segundo

nivel, tercer nivel y Centro Médico Nacional. Este análisis se realizó con los datos de la tecnología de Internet2 generados en el simulador NS-2, debido a que existe más ancho de banda con respecto a Internet básico. Este análisis se muestra, mediante la interfaz de MATLAB, en la Figura 13.

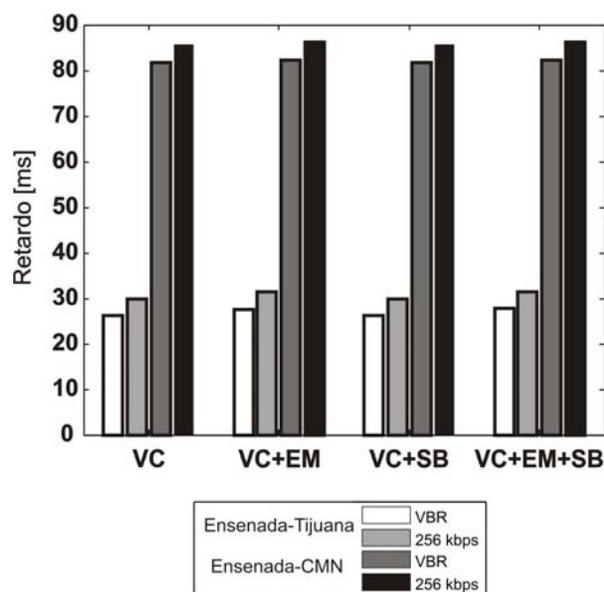


Figura 13. Análisis comparativo de retardo entre 256 kbps y VBR en Internet2.

Se observa en la Figura 13 que VBR presenta un mejor desempeño porque el retardo es 14% menor que en el caso de 256 kbps. Para los parámetros de jitter y paquetes perdidos, la variación fue menor, alrededor de 7%. Entonces, a través de este análisis se concluye que la mejor opción para ofrecer un mejor desempeño en la transmisión de video es VBR, por lo que las simulaciones presentadas en los siguientes apartados son realizadas con esta codificación.

IV.2.2 Audio

En el caso de la fuente de audio, se utilizó el CODEC G.722, el cual es modelado matemáticamente por un proceso ON-OFF de acuerdo a [Aguayo, 2004], en donde el estado OFF representa silencio, es decir, en la conversación existen momentos donde no se emite audio. Entonces, la fuente de audio alterna entre estos dos estados, manteniéndose en cada uno de ellos por un tiempo determinado. Este modelo de la fuente es representado por una cadena de Markov de dos estados, en donde el estado ON transmite a una velocidad de 64 kbps y en el estado OFF no se emite tráfico. Pero habiendo realizado una fuente de video real, la fuente de audio se modeló lo más cercana a la realidad, por esta razón, conforme al comportamiento del CODEC G.722, se consideró una tasa de bit constante CBR, donde los paquetes llegan de acuerdo a una distribución uniforme.

Para las simulaciones de este trabajo se establecen las siguientes consideraciones de simulación, establecidas en la Tabla V.

Tabla V. Consideraciones de simulación

H.323	Aplicación	Protocolo	CODEC	Tamaño de Paquete
Sesión	Videoconferencia			
	Audio	UDP	G.722	200Bytes
	Video		H.263	1400Bytes
	Expediente Médico			
	Imagen	TCP	T.120	1000Bytes
	Correo Electrónico			
	Datos	TCP	T.120	1000Bytes
	Señal Biomédica			
	Audio	UDP	G.722	200Bytes

Como se estudió en el Capítulo III, es indispensable un tráfico de fondo para llevar a cabo las simulaciones lo más cercanas a la realidad, por tal razón se consideró la distribución

Pareto con un 80% de ocupación en el canal, lo cual representará transferencia de archivos por HTTP. Los tamaños de paquetes que se establecieron para HTTP fueron de 1000 Bytes.

IV.3 Internet básico

El escenario propuesto para Internet básico, se basa en comunicar la clínica de primer nivel, ISSSTE San Quintín, con la clínica de segundo nivel, ISSSTE Ensenada; de igual manera se propone comunicar esta última con la clínica de tercer nivel correspondiente al ISSSTE Tijuana. Por último, se propone enlazar el ISSSTE Tijuana con el Centro Médico Nacional 20 de Noviembre, en México, D.F. Estos escenarios se muestran en las Figuras 14, 18 y 22, respectivamente, los cuales se sustentan en un *trace route* realizado con el programa *Ping Plotter*. La transmisión por Internet básico consistió en servicios de videoconferencia, expediente médico y correo electrónico.

El tiempo de simulación para estos enlaces se estableció en 30 minutos, lo que correspondería al tiempo de un telediagnóstico.

Los enlaces ADSL (en inglés *Asymmetric Digital Subscriber Line*) de Internet básico que se consideraron fueron *Downstream* (hacia el suscriptor) 1.5 Mbps y *Upstream* (hacia la central) 0.5 Mbps.

IV.3.1 Enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención

El enlace entre una clínica de primer nivel, ISSSTE San Quintín, y segundo nivel de atención, ISSSTE Ensenada, la cual presenta 7 nodos intermedios pertenecientes a la red de

Telnor, se muestra en la Figura 14 por donde se transmitió el servicio de telediagnóstico y se encuentran distribuidos en una distancia de 130.3 Km.

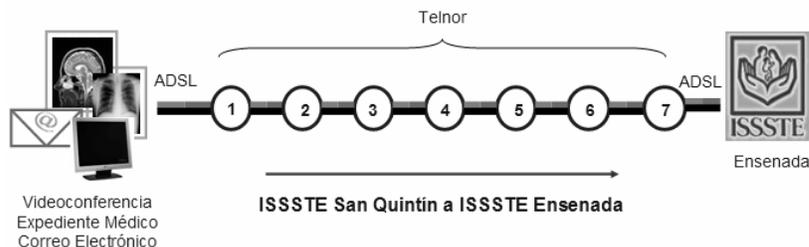


Figura 14. Escenario de conexión por Internet básico entre clínicas de 1er nivel y 2do nivel de atención.

A continuación se presentan las simulaciones correspondientes a este enlace. A pesar de las diferentes combinaciones realizadas para la transmisión de videoconferencia, expediente médico y correo electrónico, sólo se muestran las simulaciones más destacadas generadas en el simulador NS-2 con ayuda de la interfaz de MATLAB.

Como primer análisis se estudió el comportamiento del retardo, mostrado en la Figura 15.

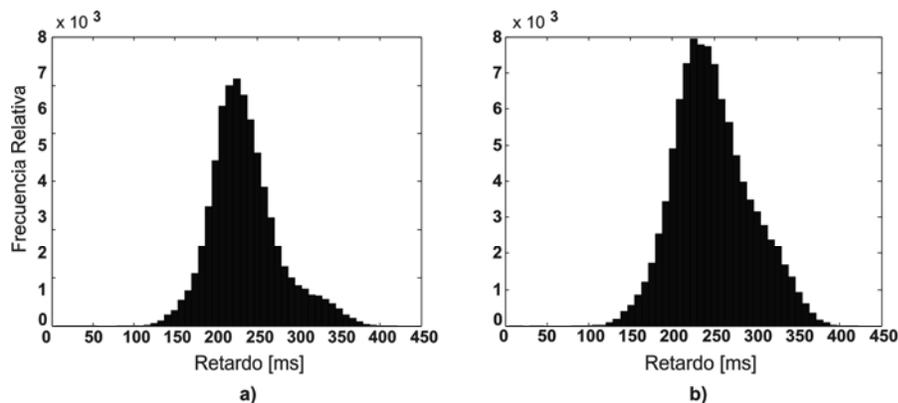


Figura 15. Retardo del enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

Analizando la Figura 15.a, el retardo para la videoconferencia comienza en 4.2 ms. De acuerdo a la Tabla IV, 90.3% del retardo se mantiene en calidad Aceptable, dando un tiempo total T_{wt} de 235.5 ms, como se estudió en el Capítulo III en la ecuación 9, representa el tiempo de los paquetes desde su llegada hasta la salida de éstos. En cambio, en la Figura 15.b se muestra que durante el envío de videoconferencia, expediente médico y correo electrónico, el retardo para la videoconferencia se conserva en Aceptable con un tiempo total T_{wt} de 248 ms, degradándose sólo 6% con respecto a la anterior.

Otro parámetro a analizar corresponde a la variación de retardo o jitter, el cual representa la variación del retardo en los paquetes. En el envío de sólo videoconferencia, correspondiente a la Figura 16.a, el jitter se mantiene 84.93% en calidad Buena. Esto muestra que la mayoría de los paquetes fueron llegando continuamente, pero en la Figura 16.b, el jitter de la videoconferencia se conserva en calidad Buena pero con un deterioro de 10% con respecto al anterior, debido a que se envió por el mismo canal junto con el expediente médico y correo electrónico.

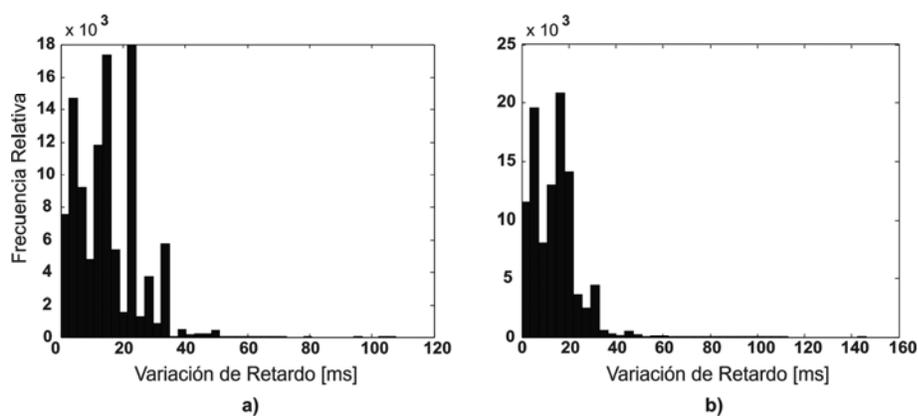


Figura 16. Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención, por Internet básico:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

Se realizó una comparación entre paquetes perdidos en todos los enlaces con sólo videoconferencia, considerando videos de alta y media movilidad, debido a que en un telediagnóstico completo, (videoconferencia, expediente médico y correo electrónico), se obtuvo 95% de pérdida de paquetes. Por tal razón, se analiza la probabilidad de transmitir videoconferencia a mediana movilidad. La elección del análisis de este parámetro en la comparación se debe a que fue el parámetro que más degradó a la videoconferencia en el servicio de Internet básico.

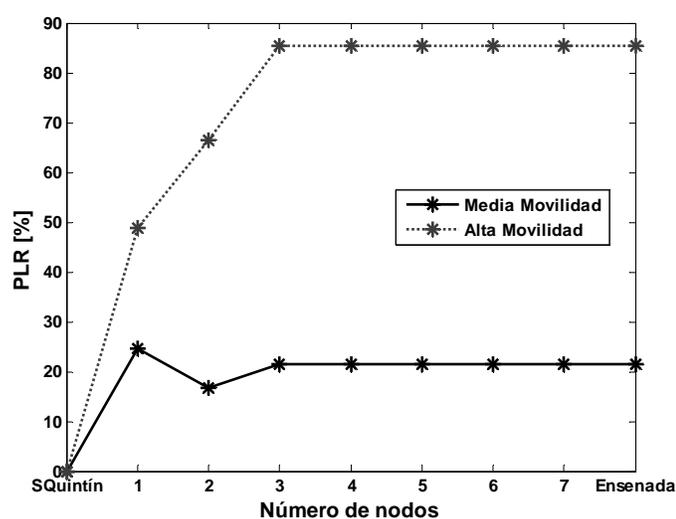


Figura 17. Comparación entre videos de alta movilidad y de media movilidad en base a la probabilidad de pérdida de paquetes en el enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.

En la Figura 17 se observa que el video de media movilidad presenta un PLR constante de 21.4%, con un máximo en 24.6%, debido a la presencia de los buffer en los extremos de la

red, los cuales ajustan el jitter para minimizar la pérdida de paquetes, producida por la inestabilidad que sufren estos paquetes al momento de transmitirse.

En el caso del video de alta movilidad se presenta un PLR de 85.5%, donde la tasa de paquetes perdidos va en aumento hasta estabilizarse en el tercer nodo de transmisión. Esto se debe a que la ráfaga de bits es más continua que en el video de media movilidad, además de que el tamaño de paquetes que se manejan es mayor que en el caso anterior, y por lo tanto la tasa de paquetes perdidos es también superior a ésta. Los resultados de las gráficas se basaron en la ecuación 6, la cual sólo muestra las pérdidas de nodo a nodo, por lo que es imposible precisar qué sucede en puntos intermedios de estos nodos.

Sobre este enlace se concluye que a pesar de que la videoconferencia se mantiene en calidad Aceptable y Buena en cuanto al retardo y jitter respectivamente, la tasa de paquetes perdidos es superior a los umbrales de calidad Aceptable establecidos en la Tabla IV. Por esta razón no es recomendable el envío de videoconferencia por Internet básico entre clínicas de primer y segundo nivel de atención, debido a que en la clasificación de aplicaciones médicas, en el Capítulo III, la videoconferencia es intolerable a estas pérdidas de paquetes.

IV.3.2 Enlace entre clínicas de 2do a 3er nivel de atención

El enlace entre clínicas de segundo y tercer nivel de atención mostrado en la Figura 18, corresponde a las clínicas de ISSSTE Ensenada e ISSSTE Tijuana respectivamente, con una distancia aproximadamente de 88 Km.

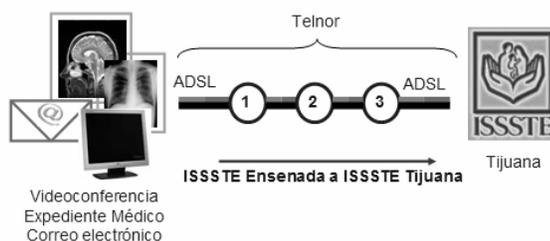


Figura 18. Escenario de conexión por Internet básico entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.

En este enlace en primer lugar se analizó el retardo en la transmisión, como se presenta en la Figura 19.

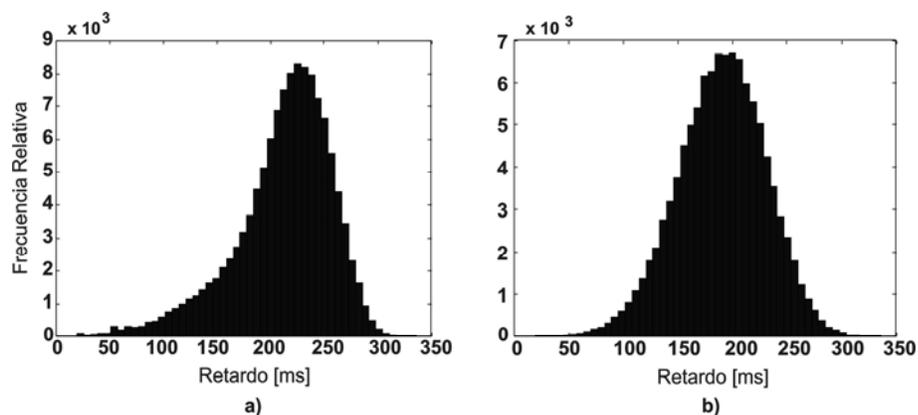


Figura 19. Retardo del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, por Internet básico:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

En la Figura 19.a, del análisis del retardo en videoconferencia, se obtuvo un tiempo total T_{wt} de 190 ms, manteniéndose un 83.8% en calidad Aceptable de acuerdo a la Tabla IV. En este caso se observa que el retardo es menor que en el enlace anterior debido a la diferencia de distancia entre los sitios. En la Figura 19.b el retardo de la videoconferencia, cuando se

envía junto con expediente médico y correo electrónico, se conserva en calidad Aceptable, degradándose sólo un 6% con respecto a la anterior. Un aspecto importante considerado en este análisis, de acuerdo a la ecuación 9, corresponde a que el retardo presentado, se evalúa de acuerdo al flujo de videoconferencia, y no en base a la identificación de cada paquete. Esto significa que en este trabajo no se obtendrán estadísticas del retardo de cada paquete, sino del retardo total evaluado sobre la transmisión de videoconferencia sobre UDP. Continuando con el análisis de los parámetros de calidad en este enlace se presenta el jitter en videoconferencia y videoconferencia en un telediagnóstico completo en la Figura 20.

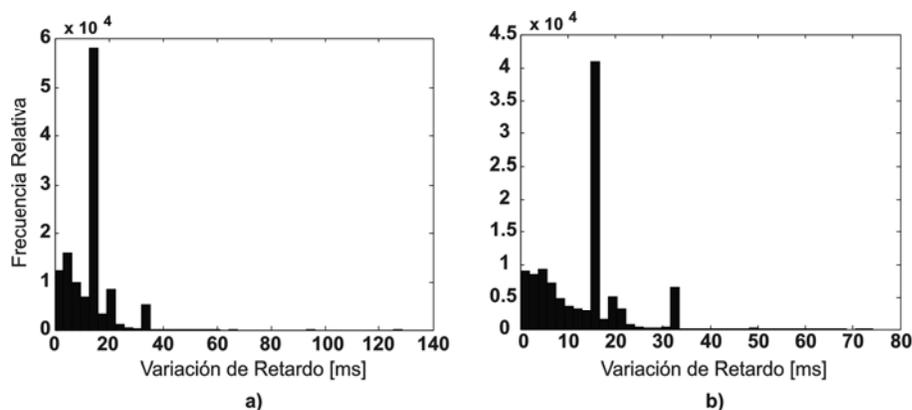


Figura 20. Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, por Internet básico:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

En la Figura 20.a la variación del retardo en los paquetes, de acuerdo a la ecuación 8, en la transmisión de videoconferencia es de 13.5 ms, presentando 87% de calidad Buena. De igual manera también se presenta una calidad Buena en la Figura 20.b, ya que el jitter se presenta de manera constante en ambas videoconferencias.

Como se mencionó anteriormente, la pérdida de paquetes se muestra por medio de una comparación, por lo que en la Figura 21 se observa que el video de media movilidad presenta un PLR de 26%, y el video de alta movilidad un valor de 69%. En este caso el video de alta movilidad obtuvo 43% más de pérdidas que el de media movilidad, por lo que el video presentará continuos congelamientos en la imagen.

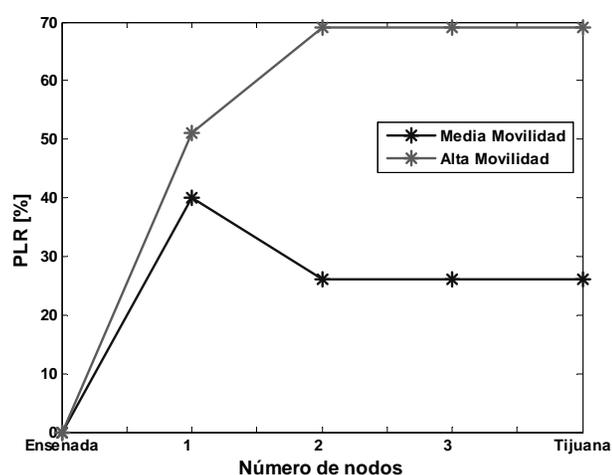


Figura 21. Comparación entre videos de alta movilidad y de media movilidad en base a la probabilidad de pérdida de paquetes en el enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.

Finalmente, se concluye que para este enlace no es aconsejable el envío de videoconferencia debido a que presenta pérdida de paquetes superiores, igual que en el caso anterior, ubicándolo en calidad Inaceptable como lo establece la Tabla IV.

IV.3.3 Enlace entre clínica de 2do nivel al Centro Médico Nacional

El enlace que corresponde entre el ISSSTE Ensenada y el Centro Médico Nacional en la Ciudad de México, tiene una distancia de 3288 Km. aproximadamente, con 6 nodos Telnor distribuidos a lo largo del enlace, como se muestra en la Figura 22.

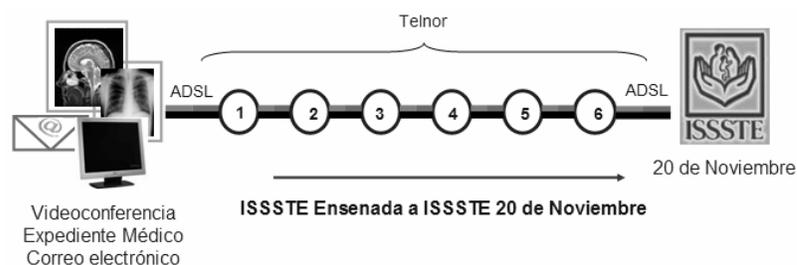


Figura 22. Escenario de conexión por Internet básico entre clínica de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional.

Siguiendo el mismo orden que en los enlaces anteriores, primero se analizará el retardo, el cual se presenta en la Figura 23.

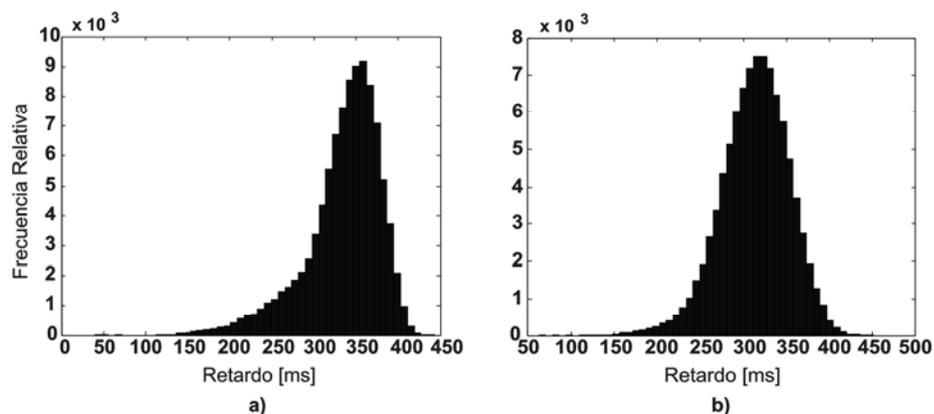


Figura 23. Retardo del enlace entre clínica de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

El retardo de videoconferencia mostrado en la Figura 23 corresponde al tiempo total T_{wt} de 313 ms, manteniéndose un 65% en calidad Inaceptable de acuerdo a la Tabla IV. Esta calidad Inaceptable se sigue manteniendo cuando se satura el envío de videoconferencia con expediente médico y correo electrónico, como se observa en la Figura 23.b, degradándose ésta 17% más que la anterior. Por lo tanto se concluye que la degradación aumenta conforme la distancia es mayor, como en este caso, debido a que en los enlaces anteriores la calidad del retardo se mantuvo Aceptable.

A continuación se presenta la variación de retardo en los paquetes de videoconferencia dado en la Figura 24.

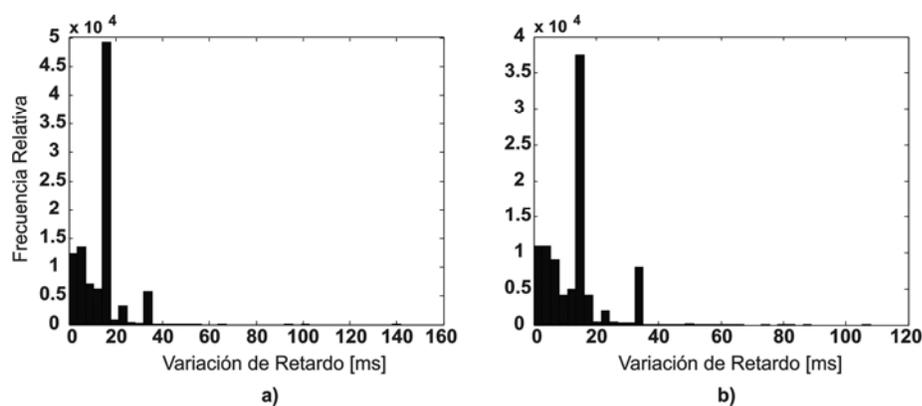


Figura 24. Variación de Retardo del enlace entre clínica de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional, por Internet básico: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

La variación de retardo o jitter de las Figura 24.a y b permanece en calidad Buena, con valores de 85% y 81% respectivamente, por lo que al comparar este jitter con el de los enlaces anteriores se tiene que éste no se ve afectado por la distancia sino por el tráfico de la red.

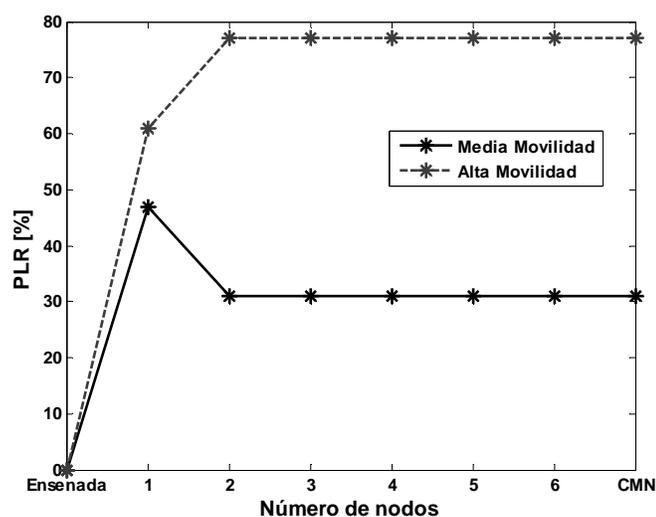


Figura 25. Comparación entre videos de alta movilidad y media movilidad en base a la probabilidad de pérdida de paquetes en el enlace entre clínica de 2do nivel de atención al Centro Médico Nacional.

Con respecto a la pérdida de paquetes, la Figura 25 muestra que el video de media movilidad presenta un PLR de 31%, y el video de alta movilidad 77%. Con esto, se puede concluir que la videoconferencia presenta más pérdidas conforme aumenta la distancia y, de igual manera se ve influenciada por el número de nodos que conforman la red. Como se observa en este enlace de clínica de segundo nivel a CMN, la distancia es mayor que el enlace entre primer y segundo nivel de atención, pero cabe mencionar que el número de nodos es mayor en este último enlace, y por lo tanto su pérdida es mayor que en los demás. Para finalizar el análisis en Internet básico, se tiene que la videoconferencia no presenta Buena calidad en su transmisión, debido a la tasa de paquetes perdidos presentada en los tres enlaces. Como se mencionó al inicio del análisis de Internet básico, sólo se presentaron las simulaciones más destacadas, por lo que ahora se exponen las simulaciones realizadas

con respecto al expediente médico más correo electrónico con el fin de analizar la posibilidad del envío de estas aplicaciones médicas, a falta de videoconferencia.

IV.3.4 Análisis de Probabilidad de Pérdida de Paquetes para expediente médico en Internet básico

De acuerdo a la Tabla IV de los Valores Técnicos de Calidad de Servicio para diversas aplicaciones médicas, el diagnóstico por imagen se ve degradado por la tasa de paquetes perdidos, además del BER, pero en este caso este último parámetro aparece fijo, debido a que su análisis no pertenece al objetivo de la tesis. A continuación se presenta en la Figura 26, el PLR correspondiente a cada enlace.

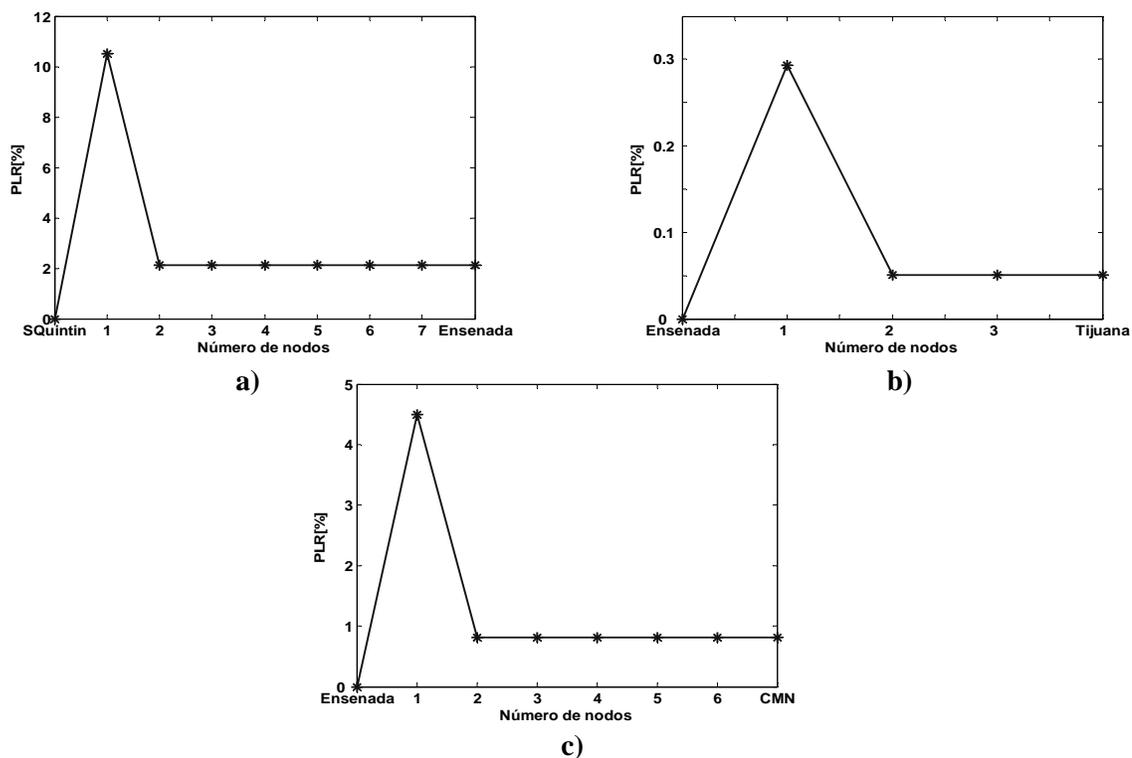


Figura 26. Probabilidad de Pérdida de Paquetes para expediente médico con correo electrónico, por Internet básico para enlaces entre clínicas de: a) 1er a 2do nivel, b) 2do a 3er nivel y c) 2do nivel a CMN.

El envío del expediente médico a través de Internet básico es degradado por dos factores muy importantes, la distancia y el número de nodos que componen el enlace, donde el correo electrónico satura el canal de transmisión. Esto se puede observar mediante la Figura 26.b, donde el enlace de ISSSTE Ensenada a ISSSTE Tijuana, formado por cinco nodos en una distancia menor a los otros enlaces, obtuvo menos pérdidas, dando una calidad Buena en su transmisión.

En la Figura 26.a y c, se observa la influencia de los nodos en la pérdida de paquetes, ya que en esta última, compuesta por ocho nodos, mantuvo una tasa de paquetes perdidos de 0.805%, mientras que en el caso de la Figura 26.a, con 9 nodos, esta pérdida de paquetes se eleva a 2.11%.

Cabe mencionar que en los tres enlaces se lleva a cabo una pérdida mayor al inicio de la transmisión. Esto se debe a la inestabilidad de la transmisión, en donde intervienen los buffer de los extremos.

Entonces, la transmisión del expediente médico más correo electrónico a través de Internet básico, se evalúa de la siguiente manera: entre clínicas de primer y segundo nivel de atención la calidad es Inaceptable, debido a que sobrepasa el umbral de esta calidad en la Tabla IV. El envío de estas aplicaciones entre clínicas de segundo y tercer nivel es recomendable, debido a que se presenta en toda su transmisión un nivel de PLR de calidad Buena. Por último, entre la clínica de segundo nivel y el CMN en la Ciudad de México, el nivel de PLR es Aceptable porque a pesar de que se mantiene durante su transmisión en calidad Buena, al inicio de ésta obtuvo una pérdida de 4.5%, lo cual degrada la imagen médica.

IV.4 Internet2

Las clínicas que conforman los enlaces correspondientes a Internet2 son las mismas que Internet básico, pero las características de esta tecnología de red son diferentes al Internet básico.

La información médica transmitida por Internet2 fue además de videoconferencia, el expediente médico y señal biomédica, las cuales fueron analizadas en el Capítulo II. El envío de todas estas aplicaciones estuvo basado en el uso Servicios Diferenciados. La Figura 27 muestra el esquema usado en la simulación de estos enlaces, donde se observa cómo se organizó el envío de las diferentes aplicaciones médicas.

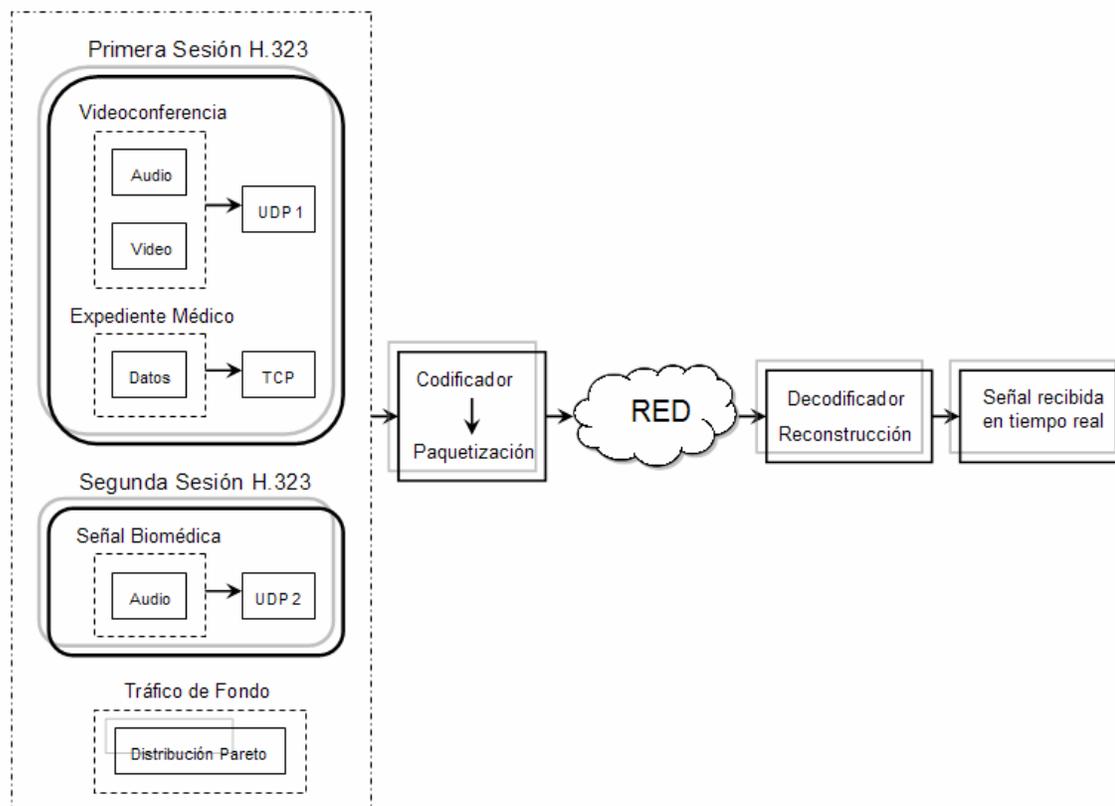


Figura 27. Esquema de simulación para enlaces por Internet2.

Como se observa en la Figura 27, la señal biomédica, de acuerdo a H.323, se envía en una sesión aparte de la sesión correspondiente a la videoconferencia y expediente médico, a diferencia de Internet básico que sólo necesitó de una sesión de H.323. Esta segunda sesión implica que la señal biomédica se transmita en un UDP diferente al de la primera sesión. Posteriormente se realiza la codificación y paquetización de la información, la cual se transmitirá por toda la red, para después decodificar y reconstruir esa información, y de esta manera recibirla en tiempo real.

En cada enlace se analizarán los umbrales de calidad de servicio, así como sus respectivas consideraciones de simulación.

IV.4.1 Enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel de atención

El escenario para la simulación entre ISSSTE San Quintín e ISSSTE Ensenada, mostrado en la Figura 28, presenta enlaces dedicados de 2Mbps en los extremos, y un enlace del tipo E3 a 34Mbps, el cual es conectado al nodo del Asociado Académico CICESE. Cabe mencionar, que el CICESE proporciona Servicios Diferenciados en éste y el resto de los enlaces de Internet2, marcando los paquetes de videoconferencia con la mayor prioridad, seguidos por la señal biomédica, los cuales se transmiten en tiempo real.

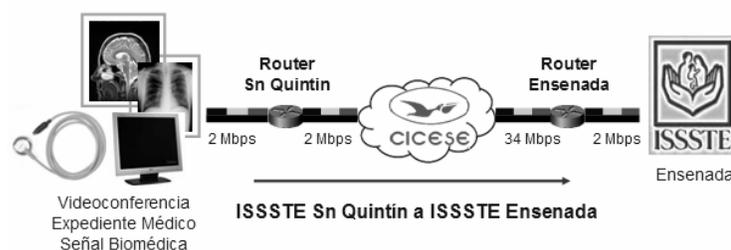


Figura 28. Escenario de conexión por Internet2 entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.

En la tecnología de información Internet2, se evaluaron los parámetros de retardo, jitter y tasa de paquetes perdidos de igual manera que Internet básico, para conocer la degradación sobre esta tecnología en particular y de esta manera hacer más eficiente la comparación entre estas tecnologías. Inicialmente se presentará el análisis de retardo perteneciente a este enlace, el cual es mostrado en la Figura 29.

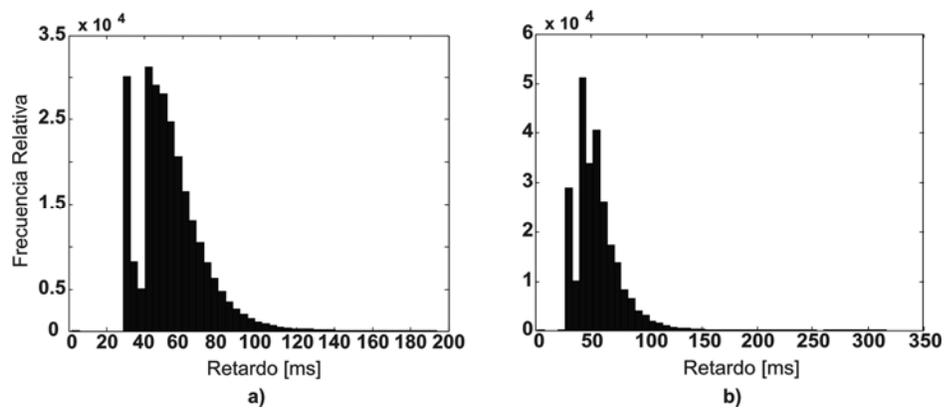


Figura 29. Retardo del enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención, por Internet2:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

El retardo de videoconferencia, presentado en la Figura 29.a, tiene un tiempo total T_{wt} de 53 ms, de acuerdo a la ecuación 9, permaneciendo un 99.89% en calidad Buena en base a la Tabla IV. En cambio en la Figura 29.b, cuando la videoconferencia se transmite junto con el expediente médico y la señal biomédica, el retardo no se degrada, debido a que la videoconferencia lleva la mayor prioridad dando un tiempo total T_{wt} de 55 ms, degradándose sólo un 0.2 % con respecto a la anterior.

A continuación se presentará el análisis correspondiente a la variación del retardo o jitter en los paquetes de videoconferencia dado en la Figura 30.

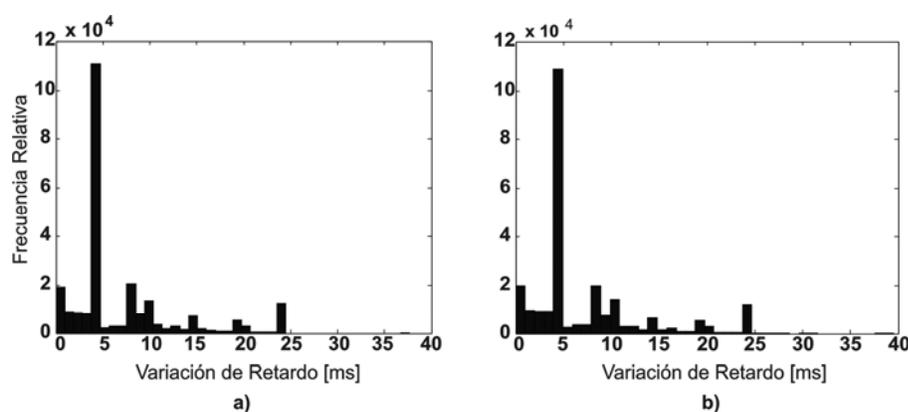


Figura 30. Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención, por Internet2:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

En la Figura 30.a y b, el jitter de videoconferencia y videoconferencia con expediente médico más señal biomédica, no varía considerablemente, ya que los paquetes llegan constantemente durante la transmisión, logrando un video continuo. La variación en el retardo de estos paquetes permanece en calidad Buena.

Este enlace entre clínicas de primer nivel a segundo nivel presenta una Buena calidad en el retardo y jitter, lo que da a la videoconferencia una transmisión continua, sin la presencia de congelamientos. El análisis de tasa de paquetes perdidos queda pendiente, debido a que se llevará a cabo en el apartado IV.4.4 junto con los demás análisis de paquetes perdidos pertenecientes a los otros enlaces, lo que permitirá estudiar mejor cuál factor degrada más a este parámetro.

IV.4.2 Enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención

El escenario mostrado en la Figura 31 presenta las mismas consideraciones de simulación que en el caso anterior, con la diferencia de que la distancia entre estas clínicas de atención médica es de 88 Km., además de los nodos pertenecientes a dicho enlace, ISSSTE Ensenada e ISSSTE Tijuana.

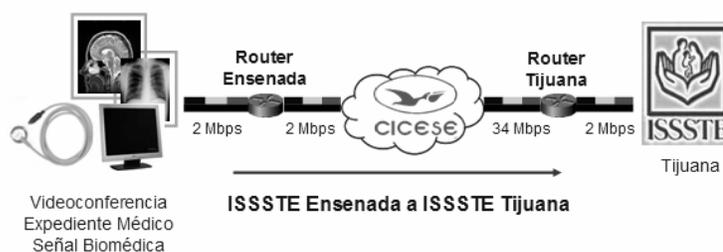


Figura 31. Escenario de conexión por Internet2 entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.

El primer análisis mostrado corresponde al retardo de videoconferencia por Internet2, el cual se presenta en la Figura 32.

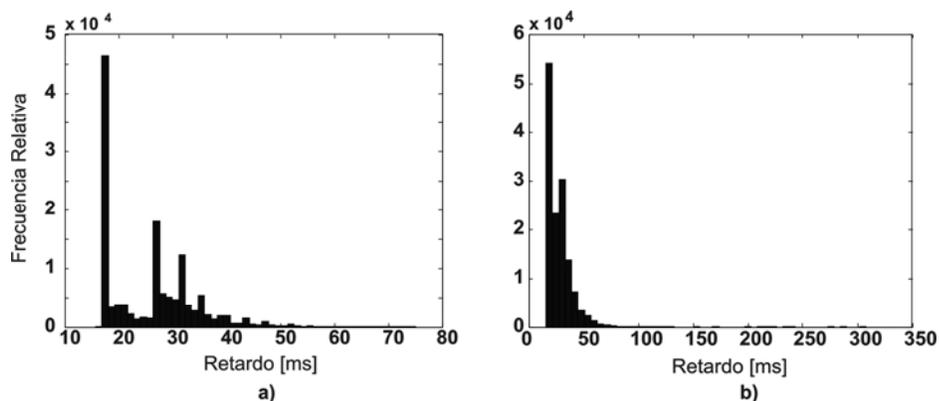


Figura 32. Retardo del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, por Internet2:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

El retardo en la transmisión de videoconferencia, mostrado en la Figura 32.a, presenta un tiempo total T_{wr} de 40 ms, el cual representa el tiempo de los paquetes desde su llegada hasta la salida del sistema, descrito por la ecuación 9. De acuerdo a la Tabla IV, la calidad Buena se presenta de 0 a 150 ms y este retardo se mantiene 99.97% en esta calidad. En la Figura 32.b la videoconferencia se degrada 0.3% con respecto a la anterior, debido a la presencia del expediente médico y la señal biomédica, los cuales tienen la función de saturar el enlace en este trabajo de tesis.

El siguiente parámetro de calidad considerado aquí es la variación de retardo o jitter, expuesto en la Figura 33, donde se analizará la continuidad con que llegan los paquetes al otro extremo de la transmisión.

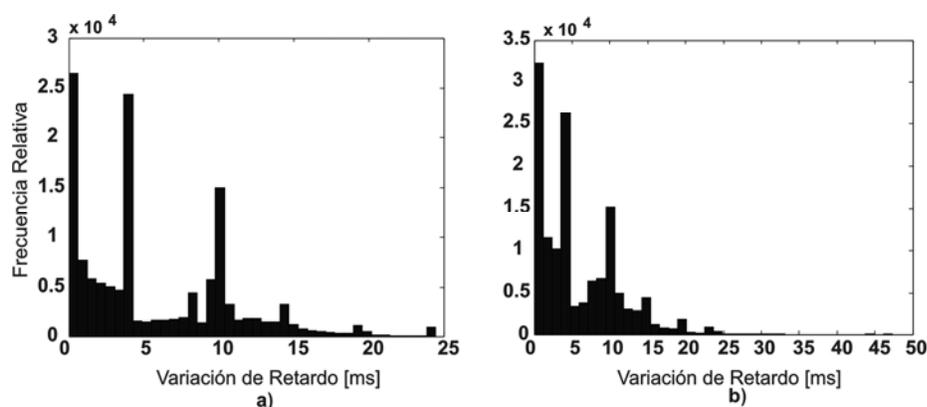


Figura 33. Variación de Retardo del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, por Internet2:
a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

La Figura 33.a muestra que el envío exclusivamente de videoconferencia, donde los paquetes llegan con una variación de retardo de 7 ms, conservando un nivel de jitter del 93% en calidad Buena en toda la transmisión. En la Figura 33.b se presenta el jitter de videoconferencia, el cual se degrada solamente un 1% con respecto al anterior, debido al envío de expediente médico y señal biomédica en el mismo telediagnóstico. Por lo que este jitter sigue manteniéndose en calidad Buena.

Hasta el momento este enlace no presenta congelamientos en la transmisión de videoconferencia, debido a que los parámetros de retardo y jitter permanecen en calidad Buena. No obstante, queda aún pendiente el análisis de la tasa de paquetes perdidos, que se presentará en la sección IV.4.4.

IV.4.3 Enlace entre clínica de 2do nivel y el Centro Médico Nacional

Los nodos considerados en el enlace entre clínica de segundo nivel a CMN, mostrado en la Figura 34, corresponden a la Corporación Universitaria para el Desarrollo de Internet (CUDI), cuya función es la lectura del código DS, estudiado en el Capítulo III, el cual establece el reenvío de la información de acuerdo a su prioridad, proveniente del nodo fuente. Los nodos correspondientes al Asociado Académico, en este caso CICESE y UNAM, utilizan enlaces del tipo E3 a 34 Mbps para conectarse a los nodos Gigapops que se encuentran ubicados en Tijuana, Guadalajara y México, DF. El enlace que une a estos tres nodos es del tipo STM-1 a 155 Mbps, establecido por CUDI, a excepción de los enlaces dedicados colocados en los extremos del enlace, los cuales se fijaron para el desarrollo de esta tesis.

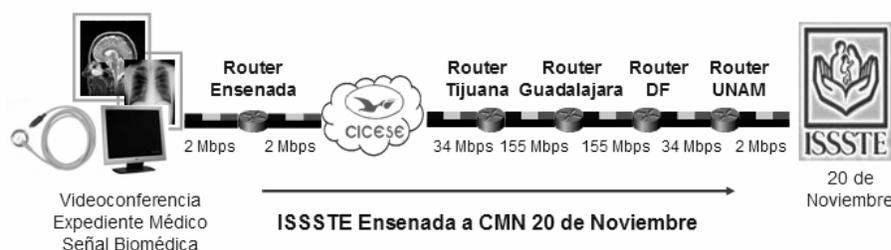


Figura 34. Escenario de conexión por Internet2 entre clínica de 2do nivel de atención y el Centro Médico Nacional.

El retardo extremo a extremo en este enlace, tanto para videoconferencia como para videoconferencia con expediente médico más señal biomédica, se presenta en la Figura 35.

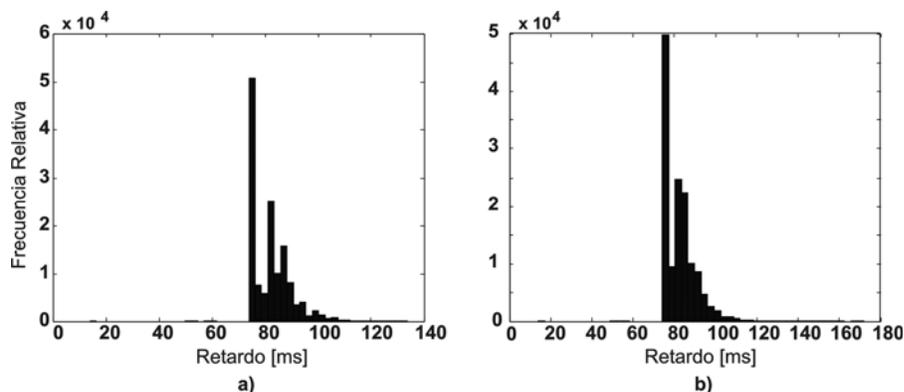


Figura 35. Retardo del enlace entre clínica de 2do nivel de atención y el Centro Médico Nacional, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

El tiempo total T_{wt} en el retardo de videoconferencia mostrado en la Figura 35.a es de 95 ms, con un 98.8% de calidad Buena, pero en la Figura 35.b el tiempo total T_{wt} tiene una variación de sólo 2.6 ms más que el anterior, lo cual indica que este retardo permanece en calidad buena a pesar del envío de expediente médico y señal biomédica.

A continuación se analiza el parámetro de calidad en la variación de retardo o jitter en este mismo enlace, el cual se presenta en la Figura 36.

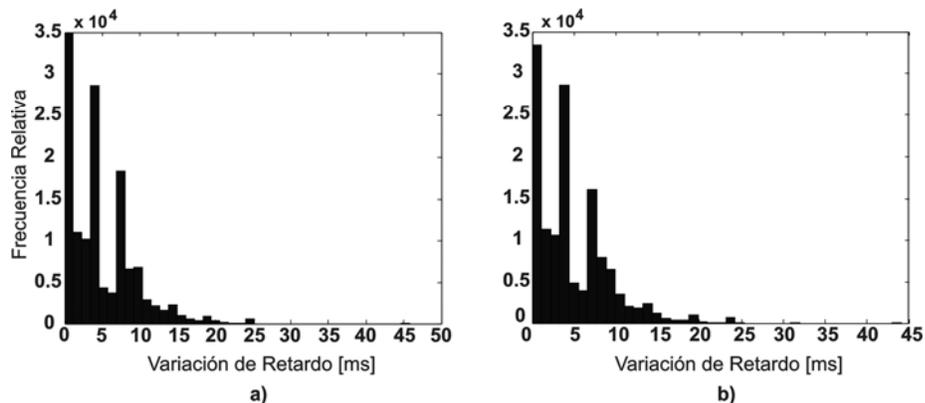


Figura 36. Variación de Retardo del enlace entre clínica de 2do nivel de atención y el Centro Médico Nacional, por Internet2: a) videoconferencia y b) videoconferencia con información médica.

La variación de los paquetes, tanto de videoconferencia solamente como en el caso de ésta misma pero en un telediagnóstico completo, resultan tener una calidad Buena, es decir de 0 a 20 ms de acuerdo a la Tabla IV, permaneciendo éstas 95% y 94.3% respectivamente.

En este enlace se observó que a pesar de la distancia, el retardo y jitter obtuvieron una calidad Buena durante todo el enlace, pero como hemos mencionado, el análisis de la tasa de paquetes perdidos permanece pendiente, y por lo consiguiente, tanto este enlace como los anteriores no se han podido evaluar satisfactoriamente. A continuación se presenta el análisis correspondiente a paquetes perdidos de los tres enlaces en Internet2 para concluir con estos análisis.

IV.4.4 Análisis de Probabilidad de Pérdida de Paquetes en Internet2

Como se analizó en Internet básico, la tasa de paquetes perdidos presentó la mayor degradación en la transmisión de videoconferencia, debido al mecanismo de mejor esfuerzo. En el caso de Internet2 se observará cómo afecta este parámetro en la transmisión. La tasa de paquetes perdidos en Internet2 correspondiente a los tres enlaces anteriores, se presenta en la Figura 37.

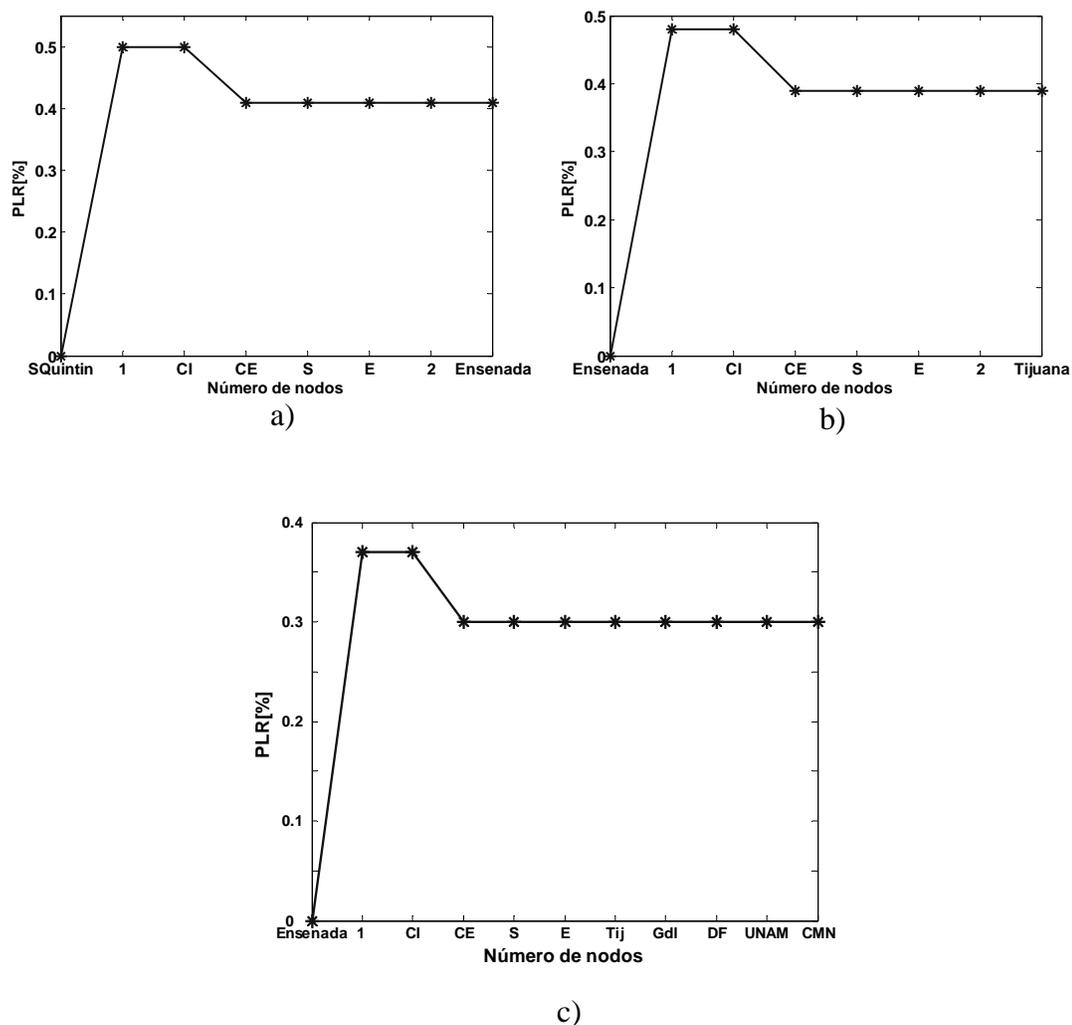


Figura 37. Probabilidad de pérdida de paquetes en Internet2 para enlaces entre clínicas de:
a) 1er a 2do nivel, b) 2do a 3er nivel y c) 2do nivel a CMN.

El enlace entre ISSSTE San Quintín e ISSSTE Ensenada, como se observa en la Figura 37.a, tiene una pérdida de paquetes, al inicio de la transmisión de 0.5%; pero después tiene un cambio en la tasa de pérdidas, esto se debe al cambio de ancho de banda del canal, como lo muestra la Figura 28, del escenario de simulación.

De la misma manera, se observa que la tasa de paquetes perdidos, se ve influenciada por la distancia a pesar del mismo número de nodos, como es el caso de la Figura 37.a y b, donde la primera tiene mayor distancia y por lo tanto presenta más paquetes perdidos. Otro factor importante a analizar se relaciona al ancho de banda utilizado en la transmisión, como se observa en la Figura 37.c, debido a que este enlace considera un ancho de banda superior a los anteriores, por lo tanto mantiene menos pérdidas en la transmisión.

Finalizando con este análisis, en resumen se tiene que los tres enlaces en Internet2 presentan calidad Buena, esto debido a que en todos los casos, la videoconferencia se le otorga la máxima prioridad. De esta manera se validaron los umbrales obtenidos de las simulaciones realizadas en esta tesis con la Tabla IV de los parámetros de calidad, y con estos resultados se podrá realizar la comparación correspondiente con los resultados obtenidos de [García, 2007] de los enlaces satelitales.

COMPARACIÓN ENTRE INTERNET BÁSICO, INTERNET2 Y SISTEMAS SATELITALES EN APLICACIONES MÉDICAS

El objetivo principal de este trabajo de investigación es la comparación de los umbrales de Calidad de Servicio en las redes públicas de comunicaciones para establecer, mediante el análisis de estadísticas obtenidas por un proceso de simulación, cuál tecnología presenta más ventajas y/o limitaciones en la transmisión de información médica entre clínicas de atención médica. Por ello, una vez analizados los resultados sobre el comportamiento de los parámetros de Calidad de Servicio para Internet básico e Internet2, se realizará una comparación contra los resultados obtenidos de las simulaciones de videoconferencia con información médica sobre sistemas satelitales.

V.1 Análisis del enlace entre clínica de 1er y 2do nivel de atención

La comparación correspondiente a este enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención, ISSSTE San Quintín e ISSSTE Ensenada respectivamente, se basa sólo en el uso de Internet básico e Internet2. En cada tecnología se analizan los parámetros de calidad de servicio tal como retardo, variación de retardo o jitter y pérdida de paquetes en la transmisión de videoconferencia y videoconferencia con información médica.

Para presentar los resultados se utiliza la misma metodología de tonos de grises establecida en la clasificación de calidad de videoconferencia descrita en el Capítulo III.

V.1.1 Retardo extremo a extremo

La Calidad de Servicio del retardo extremo a extremo para videoconferencia del enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel a través de Internet básico e Internet2 se presenta en la Figura 38.

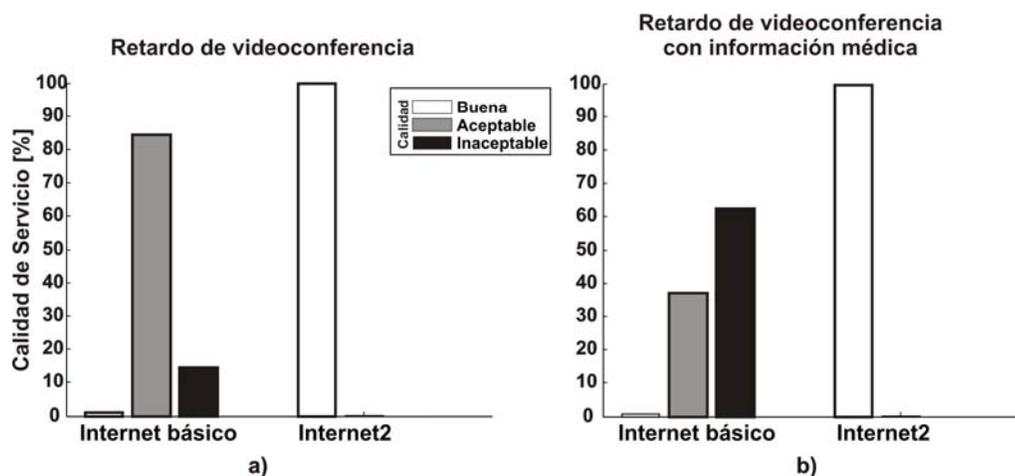


Figura 38. Comparación entre Internet básico e Internet2 en base al retardo extremo a extremo entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.

Los porcentajes, mostrados en la Figura 38, corresponden a los valores establecidos en la Tabla IV del Capítulo III, es decir, representan cuántos retardos de los paquetes totales en el sistema obtuvieron un retardo perteneciente a esa Calidad de Servicio.

En la Figura 38 se puede observar que Internet2 presenta una calidad Buena en la transmisión de sólo videoconferencia y con información médica, debido a que esta tecnología implementa en su arquitectura mecanismos que garantizan una repartición de los recursos de la red en base a las necesidades que demande cada servicio.

Caso contrario a Internet2 es el mecanismo de mejor esfuerzo, que se presenta en la Figura 38.a, donde el retardo de esta tecnología presenta una Calidad de Servicio Aceptable en un 84.5%. Sin embargo, Internet básico obtiene una calidad Inaceptable cuando la videoconferencia se transmite con información médica, que incluye el expediente médico y correo electrónico, debido a que excede los límites permitidos por la Tabla IV. Además de que Internet básico no maneja prioridades en su mecanismo, por lo que todos los paquetes compiten por el mismo canal.

V.1.2 Variación de retardo

El siguiente parámetro a analizar en el enlace entre clínicas de 1er y 2do nivel, es la variación de retardo o jitter de videoconferencia, el cual se presenta en la Figura 39 para Internet básico e Internet2.

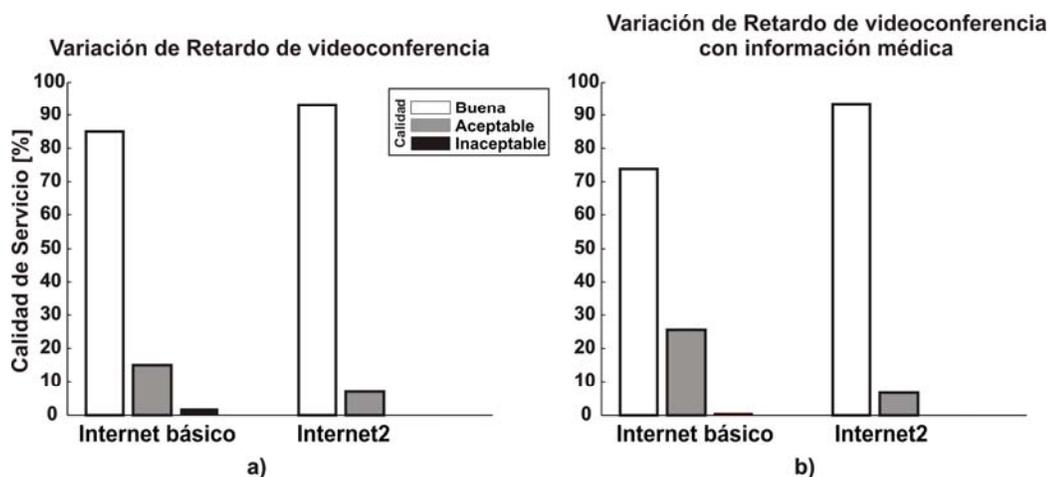


Figura 39. Comparación entre Internet básico e Internet2 en base a la variación de retardo entre clínicas de 1er y 2do nivel de atención.

En la Figura 39 se observa que la variación de retardo en Internet básico tiene calidad Buena, pero es 9% menor que Internet2 cuando se envía sólo videoconferencia y 10% menor cuando se transmite videoconferencia con información médica. En Internet2 los paquetes que pertenecen a la misma aplicación, en este caso videoconferencia, se presentan más constantes, ya que en Internet básico se observa que esta intermite del momento dado de la transmisión, presenta una calidad Inaceptable que puede ocasionar congelamiento en la imagen, como se estudió en el Capítulo III.

V.1.3 Probabilidad de Pérdida de Paquetes

En la Tabla VI se presenta la pérdida de paquetes de videoconferencia para Internet básico e Internet2, y el expediente médico con correo electrónico sólo para Internet básico.

Tabla VI. Probabilidad de Pérdida de Paquetes en el enlace entre clínicas de 1er a 2do nivel para Internet básico e Internet2.

	Videoconferencia	Videoconferencia con información médica	Expediente Médico con correo electrónico
Internet básico	85.5%	95%	2.11%
Internet2	0%	0.41%	-----

Se observa en la Tabla VI que la pérdida de paquetes en Internet básico excede el límite permitido para llevar a cabo una videoconferencia continua, además de incluir un expediente médico capaz de ofrecer alternativas al telediagnóstico. En cambio Internet2 no

presenta pérdidas mayores a lo establecido en Calidad Buena, por lo que en este caso no se presentará congelamientos en la transmisión de video como sucede en Internet básico.

V.2 Análisis del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel atención

El análisis del enlace entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, ISSSTE Ensenada e ISSSTE Tijuana respectivamente, se llevará a cabo en Internet básico, Internet2 y enlaces satelitales. En cada tecnología se analizan los parámetros de calidad de servicio para retardo, variación de retardo y pérdida de paquetes, en la transmisión de sólo videoconferencia y videoconferencia con información médica. Esta última, en el caso de Internet básico corresponde al expediente médico y correo electrónico, mientras que para Internet2 y satélite se considera el expediente médico y señal biomédica. Además se presentan otras opciones de aplicación médica para su transmisión sobre estas tecnologías, como es el caso del expediente médico con correo electrónico en Internet básico, y el expediente médico con señal biomédica en enlaces satelitales, donde en cada opción se analiza el parámetro que más degrada al diagnóstico por imagen.

V.2.1 Retardo extremo a extremo

La Figura 40 compara el retardo extremo a extremo para los casos de Internet básico e Internet2 con respecto a los Sistemas Satelitales, reportados en [García, 2007].

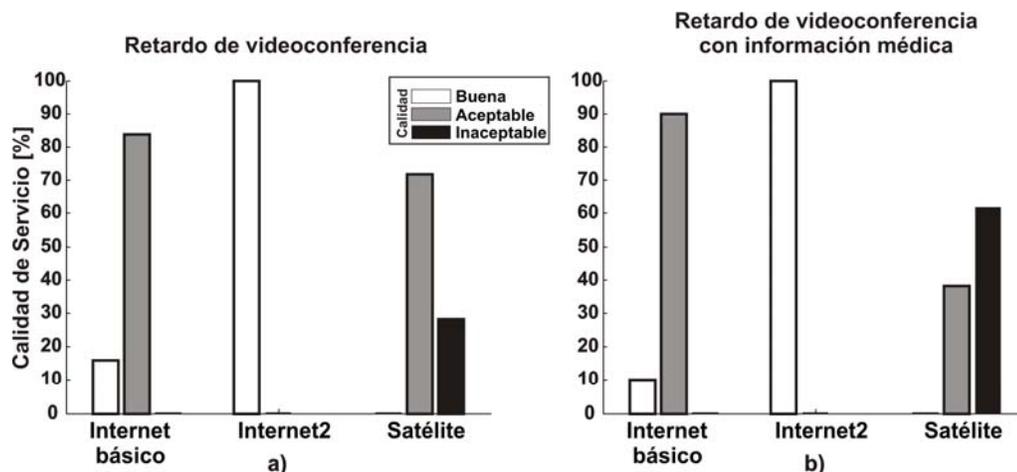


Figura 40. Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite [García, 2007] en base al retardo extremo a extremo entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.

De acuerdo a la Figura 40.a Internet2 es la única tecnología que presenta calidad Buena en el retardo para la transmisión de videoconferencia. En el caso de Internet básico se presenta calidad Aceptable en ambas transmisiones, pero el enlace satelital presenta calidad Aceptable cuando sólo se transmite videoconferencia, ya que en la transmisión con información médica se obtiene una calidad Inaceptable en el retardo extremo a extremo. Por tal razón, en los resultados obtenidos por [García, 2007] se consideró el envío de videoconferencia con señal biomédica por satélite, obteniendo un retardo de 65% de calidad Aceptable extremo a extremo y el resto en calidad Inaceptable.

V.2.2 Variación de retardo

La Figura 41 presenta la comparación entre Internet básico, Internet2 y enlace satelital para el análisis de la variación de retardo entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, las cuales corresponden al ISSSTE Ensenada e ISSSTE Tijuana respectivamente.

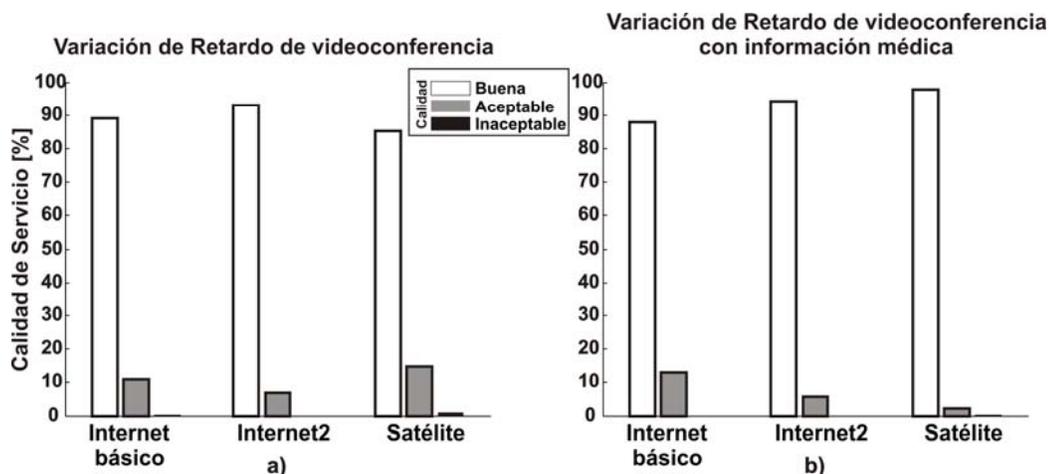


Figura 41. Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite [García, 2007] en base a la variación de retardo entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención.

La variación de retardo de videoconferencia para las tres tecnologías es de calidad Buena, lo cual representa que la mayor parte de los paquetes de videoconferencia llegan de manera continua. De la misma manera se presenta en el jitter de videoconferencia cuando se transmite con señal biomédica por enlace satelital [García, 2007].

V.2.3 Probabilidad de Pérdida de Paquetes

La Tabla IV presenta la probabilidad de pérdida de paquetes de videoconferencia para Internet básico, Internet2 y enlaces satelitales [García, 2007], en el enlace de clínicas de 2do a 3er nivel de atención, ubicadas en el ISSSTE Ensenada e ISSSTE Tijuana, además de incluir los expedientes médicos correspondientes a cada tecnología.

Tabla VII. Probabilidad de Pérdida de Paquetes en el enlace de clínica de 2do a 3er nivel para Internet básico, Internet2 y Satélite.

	Videoconferencia	Videoconferencia con información médica	Expediente Médico con correo electrónico	Expediente Médico con señal biomédica
Internet básico	69%	75%	0.051%	----
Internet2	0.08%	0.39%	-----	----
Satélite [García, 2007]	1.63%	3.29%	-----	0.01%

En el caso de redes terrestres, la pérdida de paquetes es el parámetro que más las degrada como se puede observar en la Tabla VII, donde Internet básico presenta una calidad Inaceptable, debido a los enrutadores que existen en el enlace de transmisión.

Internet2 tiene calidad Buena en el parámetro de pérdida de paquetes, ya que se está considerando canales dedicados en los extremos del enlace y, lo más importante, se le otorga prioridad a los paquetes en esta tecnología.

El enlace satelital presenta valores que permanecen en los límites de calidad Buena, establecidos en la Tabla IV, tanto para sólo videoconferencia y para videoconferencia con información médica. De igual forma se presenta esta calidad en videoconferencia con señal biomédica, con un valor de 1.5% de pérdidas.

En este enlace el expediente médico tiene calidad Aceptable para transmitirse en la respectiva tecnología. En el caso de Internet básico se debe a que el enlace se forma sólo con tres nodos internos, además de que la distancia es más corta entre las clínicas consideradas.

V.3 Análisis del enlace entre clínica de 2do nivel y el CMN

El análisis correspondiente a esta sección es con respecto a la comparación entre la clínica de 2do nivel, ISSSTE Ensenada, y el Centro Médico Nacional 20 de Noviembre en la Ciudad de México. Se evalúan los parámetros de retardo, variación de retardo o jitter, y probabilidad de pérdida de paquetes, para los casos de videoconferencia y videoconferencia con información médica, la cual comprende al expediente médico y correo electrónico para Internet básico, y al expediente médico y señal biomédica para Internet2.

De la misma manera que en el análisis anterior, también se analizan la pérdida de paquetes en la transmisión del expediente médico en Internet básico y por satélite según [García, 2007].

V.3.1 Retardo extremo a extremo

La Figura 42 presenta el retardo extremo a extremo para cada tecnología, con el objetivo de llevar a cabo el análisis comparativo.

Internet2 presenta calidad Buena tanto en el envío de sólo videoconferencia como en el envío de videoconferencia con información médica. En Internet básico este retardo tiene calidad Inaceptable en ambas transmisiones, debido a que la distancia de este enlace es mayor que los anteriores y además por los retardos ocasionados por los enrutadores que constituyen el enlace. Otro factor que interviene en este proceso es la desventaja que presenta el uso de buffers en la recepción, ya que incrementa el retardo fijo total de extremo a extremo del enlace.

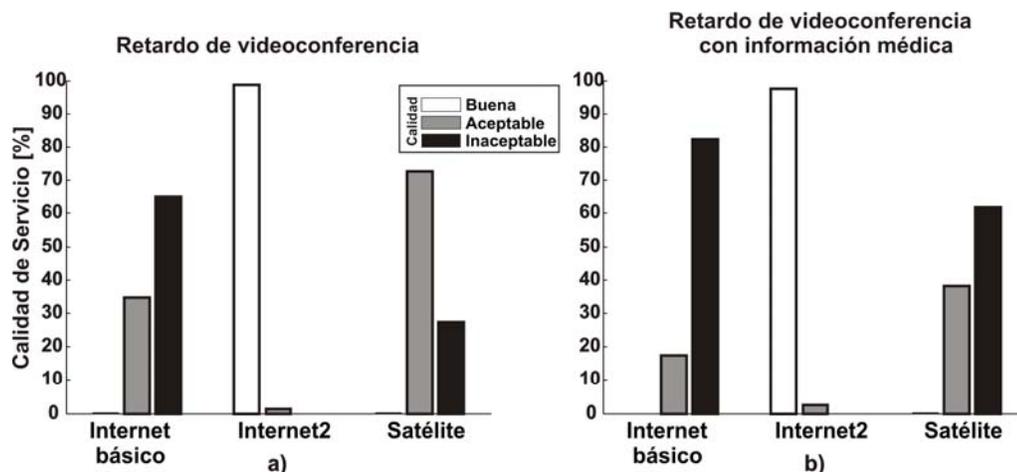


Figura 42. Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite [García, 2007] en base al retardo extremo a extremo entre clínicas de 2do nivel de atención y Centro Médico Nacional.

Por último, el enlace satelital reportado en [García, 2007], sólo es capaz de transmitir videoconferencia en calidad Aceptable, considerando que presenta un 27% de calidad Inaceptable. En el caso de la transmisión de videoconferencia con información médica, la Calidad de Servicio que ofrece la tecnología satelital es Inaceptable, debido al retardo de propagación que tiene el satélite. En esa misma referencia, también analizó la posibilidad de transmisión de videoconferencia con señal biomédica sobre satélite, obteniendo una calidad Aceptable de 67.31% y el resto en calidad Inaceptable.

V.3.2 Variación de retardo

La variación de retardo o jitter para cada tecnología se muestra en la Figura 43. A partir de las gráficas presentadas, se observa que en Internet básico, Internet 2 y satélite se

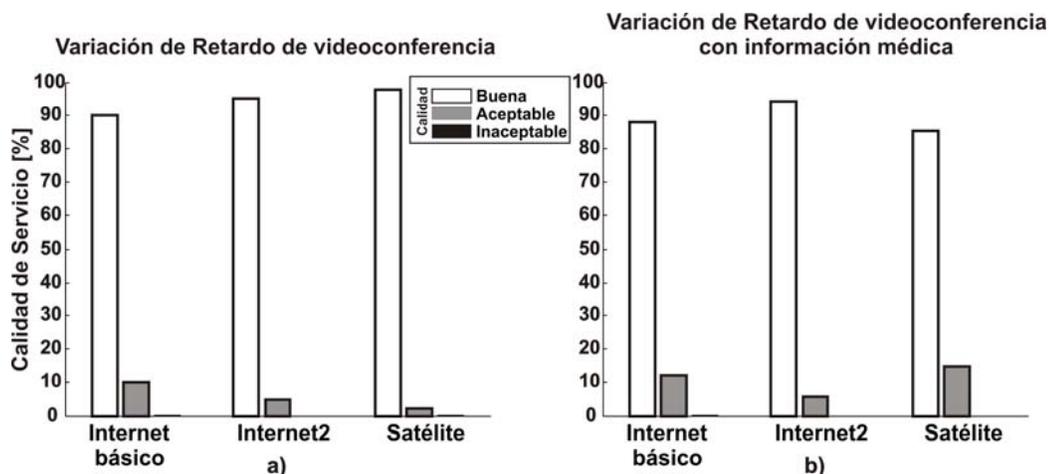


Figura 43. Comparación entre Internet básico, Internet2 y Satélite [García, 2007] en base a la variación de retardo entre clínica de 2do nivel de atención y Centro Médico Nacional.

presenta calidad Buena. Aquí, los paquetes que pertenecen a la misma aplicación, en este caso videoconferencia, se encuentran más seguidos uno del otro, lo cual se debe al almacenamiento temporal de paquetes en el receptor (buffer), enviando al decodificador los bloques codificados en el emisor de manera síncrona. En el caso de la transmisión de videoconferencia con señal biomédica por enlace satelital [García, 2007], también presenta calidad Buena en un 97.4%.

V.3.3 Probabilidad de Pérdida de Paquetes

En la Tabla VIII se presenta la probabilidad de paquetes perdidos en la transmisión de sólo videoconferencia y con información médica, tanto para Internet básico e Internet2 como en enlaces satelitales. Asimismo se muestra la pérdida de paquetes en el expediente médico, siendo éste parámetro el que más degrada al diagnóstico por imagen.

Tabla VIII. Probabilidad de Pérdida de Paquetes en el enlace de clínicas de 2do nivel a CMN para Internet básico, Internet2 y Satélite.

	Videoconferencia	Videoconferencia con información médica	Expediente Médico con correo electrónico	Expediente Médico con señal biomédica
Internet básico	77%	83%	0.805%	----
Internet2	0.11%	0.3%	-----	----
Satélite [García, 2007]	1.65%	3.32%	-----	0.01%

Internet básico presenta una calidad Inaceptable como se observa en la Tabla VIII, debido a que el tráfico de videoconferencia se implementa sobre UDP, y el único control que se puede realizar sobre la pérdida de paquetes se da en los extremos de la transmisión. Al exceder los límites permitidos, las técnicas implementadas por el CODEC dejan de ser útiles para estas correcciones.

Internet2 transmite la videoconferencia por UDP, presentando una calidad Buena, debido a la prioridad que se le otorga a esta aplicación médica.

En cambio, el enlace satelital obtiene calidad Aceptable en videoconferencia como se observa en la Tabla VIII y además en videoconferencia con señal biomédica, la cual obtuvo 2.2% de pérdidas de acuerdo a los valores establecidos en la Tabla IV.

La probabilidad de paquetes perdidos en la transmisión del expediente médico por Internet básico y por satélite presenta una calidad Buena, por lo que el diagnóstico por imagen contribuirá un exitoso apoyo al telediagnóstico.

V.4 Comparación de Redes de Comunicaciones para transmisión de aplicaciones médicas

De acuerdo a los análisis arriba descritos y considerando el esquema mostrado en la Figura 10, la cual representa el área de Calidad de Servicio de la videoconferencia, se procede a la evaluación de las redes de comunicaciones. El análisis se llevó a cabo considerando que los tres parámetros de calidad (retardo, jitter y probabilidad de pérdida de paquetes), estuvieran en la misma área de calidad. En el caso de que estos parámetros obtuvieran calidades diferentes, se evalúa la red de comunicación considerando la calidad a la cual pertenece el parámetro que más degrade la transmisión.

Una vez analizado cada uno de los parámetros de Calidad de Servicio sobre Internet básico, Internet2 y enlaces satelitales en las diferentes clínicas de atención, se presenta la Tabla IX a modo de síntesis la comparación de estas tecnologías, es decir, qué tecnología presenta calidad Buena, Aceptable o Inaceptable de acuerdo a la transmisión de aplicaciones médicas. Además se menciona qué parámetro de Calidad de Servicio degrada más a la aplicación médica en cada una de la redes de comunicación.

Tabla IX. Comparación de las Redes de Comunicación en la transmisión de aplicaciones médicas.

	Red de Comunicación	Aplicación Médica	Calidad de Servicio	Parámetro de Degradación
Enlace de clínicas de 1er a 2do nivel	Internet Básico	Videoconferencia	Inaceptable	PLR
		Videoconferencia+Inf. Médica Exp. Médico + Inf. Médica	Inaceptable Inaceptable	Retardo y PLR PLR
	Internet2	Videoconferencia	Buena	---
		Videoconferencia+Inf. Médica	Buena	---
Enlace de clínicas de 2do a 3er nivel	Internet Básico	Videoconferencia	Inaceptable	PLR
		Videoconferencia+Inf. Médica Exp. Médico + Inf. Médica	Inaceptable Buena	Retardo y PLR ---
		Internet2	Videoconferencia Videoconferencia+Inf. Médica	Buena Buena
	Satélite [García, 2007]	Videoconferencia	Aceptable	Retardo
		Videoconferencia+Inf. Médica	Inaceptable	Retardo
		Videoconferencia+Señal Biomédica Exp. Médico + Inf. Médica	Aceptable Buena	Retardo ---
Enlace de clínica de 2do nivel a CMN	Internet Básico	Videoconferencia	Inaceptable	PLR Retardo
		Videoconferencia+Inf. Médica Exp. Médico + Inf. Médica	Inaceptable Buena	Retardo y PLR ---
		Internet2	Videoconferencia Videoconferencia+Inf. Médica	Buena Buena
	Satélite [García, 2007]	Videoconferencia	Aceptable	Retardo
		Videoconferencia+Inf. Médica	Inaceptable	Retardo
		Videoconferencia+Señal Biomédica Exp. Médico + Inf. Médica	Aceptable Buena	Retardo ---

En la tabla IX, se observa que Internet básico sólo puede transmitir el expediente médico con información médica (correo electrónico). Esto se logra entre la clínica de 2do a 3er nivel y entre la clínica de 2do al Centro Médico Nacional, con calidad Buena. En este caso la videoconferencia, para la cual se utilizó un video de alta movilidad, presenta calidad Inaceptable debido a la pérdida de paquetes.

Internet2 mostró en todos los casos calidad Buena, debido a que se trabajó con Servicios Diferenciados al otorgar prioridad a los paquetes de videoconferencia seguidos por la señal

biomédica. Un punto importante en Internet2 es que se realizó la simulación de todas las combinaciones posibles entre videoconferencia, señal biomédica y expediente médico. Debido a la gran cantidad de información que generaron, sólo se muestran en este trabajo de investigación la transmisión de sólo videoconferencia y videoconferencia con información médica (señal biomédica y expediente médico). Esta última debido a que proporciona el caso más crítico en la transmisión.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la tesis de [García, 2007], el enlace satelital sólo presenta calidad Buena en la transmisión de expediente médico con señal biomédica entre el enlace de clínicas de 2do a 3er nivel, y entre la clínica de 2do nivel al Centro Médico Nacional. Además presenta calidad Aceptable en estos mismos enlaces para la transmisión de sólo videoconferencia y videoconferencia con señal biomédica. Estos enlaces fueron degradados por el retardo de propagación del satélite.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El avance tecnológico en las redes de comunicaciones ha beneficiado al sector Salud, ofreciendo servicios a distancia entre los diferentes niveles de atención, pero estos servicios demandan una mayor Calidad de Servicio para su buen desempeño. En la actualidad no existe una estandarización generalizada para llevar eficientemente el servicio de Telesalud y así proveer mejores cuidados al paciente. De acuerdo al objetivo de este tema de tesis, se evaluaron distintas redes de comunicaciones, tales como Internet básico e Internet2 y se compararon con Sistemas Satelitales para la transmisión de aplicaciones médicas a través de parámetros de Calidad de Servicio, y se mostró mediante una comparación el nivel de calidad puede garantizar cada una de ellas.

VI.1 CONCLUSIONES

Durante la realización de este trabajo de investigación se estudiaron los principales protocolos de transmisión de datos por Internet básico e Internet2, se investigaron artículos sobre Telesalud y se tomaron como base distintos RFCs para conocer los parámetros de Calidad de Servicio que más degradaban a la videoconferencia y a otras aplicaciones médicas. El objetivo fue conocer qué valores eran permitidos para llevar a cabo una

transmisión de videoconferencia con calidad Buena, ya que no se contaba con información previa a este trabajo. Para el caso de videoconferencia se realizó un estudio sobre sus características y se modeló el esquema de simulación correspondiente, ya que fue el tema central de esta tesis.

Como primer paso se analizaron teóricamente los mecanismos de transmisión de Internet básico e Internet2, como de las aplicaciones médicas (expediente médico y señal biomédica). Posteriormente se realizó la etapa de simulación, donde se obtuvieron y analizaron los resultados obtenidos por la tesista.

En este trabajo se consideraron escenarios de simulación con condiciones adversas que deterioran potencialmente el sistema de comunicación de Internet básico e Internet2, tal como tráfico de fondo con 80% de ocupación. Además, se transmitió sobre el mismo canal un expediente médico, una señal biomédica y correo electrónico para degradar aún más la transmisión de videoconferencia.

En el caso de la fuente de video para videoconferencia, se encontró que la tasa de codificación de VBR proporcionó una mejor calidad que la codificación a 256 kbps, debido a que en ciertas partes del video se desaprovechan esos 256 kbps. Además, se comprobó mediante las simulaciones realizadas que a través de VBR se entregaba mejor Calidad de Servicio con respecto al retardo.

Los resultados obtenidos en esta tesis fueron comparados con los resultados de la tesis de [García, 2007], en el mismo Grupo de Comunicaciones Inalámbricas del CICESE, en la cual se lleva a cabo la transmisión de las mismas aplicaciones médicas pero a través de un enlace satelital. Esta idea de comparación se realizó con la finalidad de evaluar las ventajas y limitaciones que presenta cada una de dichas tecnologías.

De los resultados generados por el análisis de las tecnologías de Internet básico e Internet2 se concluye lo siguiente:

- En Internet básico se encontró que los valores de retardo y variación de retardo se incrementaron debido a la congestión de tráfico ocasionada por los tiempos de espera en los enrutadores del enlace, ya que el esquema de mejor esfuerzo se basa en la capacidad de manejo de la congestión del protocolo TCP, el cual disminuye la tasa de transmisión de paquetes cuando detecta que existe congestión en la red.
- Internet básico, siendo un enlace tan económico y al alcance de todos, ofrece calidad Inaceptable para la transmisión de videoconferencia en todos los enlaces, debido al intervalo de pérdida de paquetes que oscila entre 70-95%, generado por el mismo mecanismo de mejor esfuerzo. Las aplicaciones en tiempo real utilizan UDP como protocolo de transporte y éste no cuenta con un mecanismo para la retransmisión de paquetes en caso de que éstos sean descartados dentro de la red. Además, el número de nodos intermedios del enlace incrementó de manera significativa la pérdida de paquetes en videoconferencia, dejando en segundo término la distancia de los enlaces. Otro factor importante a mencionar es que se diseñaron estos modelos particularmente para casos críticos con el fin de obtener más información, ya que así como se pueden conocer los límites reales de cada tecnología.
- Internet básico sólo garantiza la transmisión del expediente médico con correo electrónico entre clínicas de 2do y 3er nivel, y entre la clínica de 2do nivel al Centro Médico Nacional, con 0.051% y 0.805% de pérdida de paquetes respectivamente, garantizando de esta manera calidad Buena. Esto se debe a que esta aplicación se

basa en TCP, por lo cual no se ve muy afectada por la pérdida de paquetes como en el caso de videoconferencia, ya que el funcionamiento propio del protocolo TCP permite que los paquetes descartados vuelvan a ser retransmitidos.

- En el caso de Internet2, se consideró el uso del protocolo de Servicios Diferenciados para otorgar Calidad de Servicio al sistema, debido a que fue el que presentó características más sencillas con respecto a otros protocolos, como es el caso de Servicios Integrados. Con Servicios Diferenciados no es necesaria la reservación del canal, ya que los paquetes son clasificados únicamente en el dispositivo de acceso a la red.
- Internet2 garantiza la entrega de las aplicaciones médicas con Calidad de Servicio Buena, siendo que la mayoría de los parámetros de calidad se mantuvieron alrededor de 95% en esta calidad, considerando los valores de la Tabla IV.
- Un aspecto importante en Internet2 es el inconveniente que presenta cuando las clínicas de atención se encuentran apartadas de los entornos urbanos, y por lo tanto no cuentan con alguna instalación de red. Esto trae consigo un gasto excesivo para la institución, ya que se debe contratar el enlace a la Red CUDI y solicitar la asignación de los nodos pertinentes, como es el caso de San Quintín, además de contar con el equipo necesario para la conexión.
- En el enlace satelital como lo describe [García, 2007], debido a su retardo de propagación, sólo es posible la transmisión de expediente médico junto con señal biomédica en calidad Buena, para los enlaces entre clínica de 2do y 3er nivel, y clínica de 2do nivel y CMN ya que sólo obtuvieron 0.01% y 0.805% de paquetes perdidos respectivamente.

-
- Con respecto a la transmisión de sólo videoconferencia y videoconferencia con señal biomédica en [García, 2007], el enlace satelital en órbita geoestacionaria sólo garantiza 65% de calidad Aceptable, ya que considerando un telediagnóstico completo la transmisión por este enlace se degrada por el retardo de propagación. Un aspecto importante a analizar es que la videoconferencia es una aplicación médica intolerante, por lo que no permite que los parámetros de calidad excedan el límite determinado, en este caso el retardo, por lo que la transmisión de estas aplicaciones queda en función del usuario.
 - Otra ventaja del enlace satelital en [García, 2007], es que la transmisión es llevada a cabo a través de una VSAT, la cual no presenta tantos inconvenientes en su instalación como sucede en Internet2, ya que VSAT puede instalarse fácilmente en cualquier zona independientemente de su ubicación o región.
 - En Telesalud es necesario que las redes terrestres y los Sistemas Satelitales más que competir entre ellos, se integren para brindar servicios de salud con mejor calidad a lugares apartados geográfica y económicamente.

Finalmente se puede concluir que las tres redes de comunicación pueden apoyar, con diferentes aplicaciones médicas, a un diagnóstico médico a distancia, considerando las limitaciones que presenta cada una de ellas.

VI. 2 Recomendaciones

- Este trabajo de investigación recomienda sólo la transmisión del expediente médico con correo electrónico por Internet básico como apoyo médico entre clínicas de 2do y 3er nivel de atención, considerando enlaces formados por no más de 6 nodos internos, ya que rebasando este número de nodos la pérdida de paquetes impedirá realizar un telediagnóstico con Buena calidad. Esta transmisión se puede llevar a cabo entre clínicas de 1er y 2do nivel sólo si el enlace considera esta recomendación.
- Para Internet2 se recomienda el envío de un telediagnóstico completo (videoconferencia, expediente médico y señal biomédica), considerando que para la transmisión de estas aplicaciones médicas se trabajó con enlaces dedicados de 2 Mbps en los extremos, evitando de esta manera el tráfico de cuello de botella.
- Finalmente se recomienda mantener los valores de los parámetros de calidad en el intervalo de Buena calidad, principalmente en aquellos parámetros que degraden más a las aplicaciones médicas para garantizar un buen telediagnóstico médico.

VI.3 Aportaciones

- En este tema de tesis se estudió un tema de actualidad, el cual se encuentra muy abierto para el establecimiento de nuevos protocolos y estándares en Telesalud. Por tal motivo, este trabajo de investigación aporta la evaluación de las Redes de Comunicaciones para garantizar Calidad de Servicio en la transmisión de aplicaciones médicas, y de esta manera se establecieron cuáles de estas aplicaciones

debían transmitirse entre las diferentes clínicas de atención para ciertos casos y ejemplos.

- Otra aportación es que, mediante el estudio de protocolos para la transmisión en tiempo real, se analizaron los parámetros de Calidad de Servicio que más impactaban en la degradación de algunas aplicaciones médicas, estableciendo de esta manera los umbrales de calidad Buena, Aceptable e Inaceptable para estas aplicaciones. Esto es dado que a través de una extensa búsqueda bibliográfica, no se encontraron trabajos similares reportados en los cuales se mostrara el análisis de estos parámetros en Telesalud. Este análisis se reúne, a manera de síntesis, en la Tabla IV, presentando además diversas áreas de la medicina y cómo éstas se relacionan con el maletín médico para auscultar al paciente.
- Se establecieron esquemas de uso para llevar a cabo un telediagnóstico médico a distancia, los cuales no se encontraron en el estado del arte, y que a través de ellos fue posible la simulación de servicios de videoconferencia, expediente médico, señal biomédica y correo electrónico, que tampoco se han reportado como lo hace este trabajo de tesis.
- Como resultado de este estudio de parámetros de QoS en Telesalud, se estableció la clasificación de las aplicaciones médicas de acuerdo a los parámetros de calidad que más las degradaban. Estas aplicaciones se dividieron en tolerantes e intolerantes.
- Finalmente se definieron con respecto a la clasificación de las aplicaciones médicas los parámetros que afectan a las áreas de la medicina. El retardo, la variación de retardo y la pérdida de paquetes para la transmisión de teleconsulta, telediagnóstico

entre otras. Para la transmisión de imágenes y correo electrónico sólo se tiene la pérdida de paquetes para redes terrestres.

VI.4 Publicaciones resultado del trabajo de investigación

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

1. García R.A., Tamariz E.I., Conte R., Gómez A.O., *QoS Parameters in Telemedicine: Comparative Analyses of Terrestrial and Satellite Videoconference Systems*. Sometido a IEEE Wireless Rural and Emergency Communications Conference, Roma, Italia, mayo 2007.
2. Tamariz E.I., García R.A., Conte R., Gómez A.O., *Análisis de Redes de Comunicaciones en Aplicaciones Médicas*. A someterse a la decimoctava reunión de otoño de Comunicaciones, Computación, Electrónica y Exposición Industrial IEEE ROC&C'2007, Acapulco, Guerrero, México, noviembre 2007.
3. Gómez A.O., García R.A., Tamariz E.I., Conte R., *Aspectos de QoS en Telemedicina por Satélite*. Conferencia en el Taller de aplicaciones Satelitales en Tele-Salud, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, 25-28 de Junio de 2007.

VI.5 Trabajo Futuro

Como recomendaciones para trabajos futuros de investigación y basado en la evaluación de QoS sobre Redes de Comunicaciones para la transmisión de aplicaciones médicas, se encuentra los parámetros de QoS para una Calidad de Servicio Percibida, ya

que en este trabajo de tesis se trabajó sólo con parámetros tales como retardo, jitter y pérdida de paquetes, siendo éstos los que más degradaban a las aplicaciones médicas con respecto a la capa IP del modelo TCP/IP:

- Realizar un estudio sobre los parámetros de reconstrucción en compresión de imagen, como es el caso del PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*).
- De igual manera realizar un estudio del parámetro VQM (*Video Quality Metric*), el cual provee una medida objetiva para calidad de video percibida, además de proveer efectos perceptuales de degradación de video que influye empañamiento y oscurecimiento, movimiento desigual, ruido global y distorsión de color. VQM ha sido adoptado por la ANSI como un estándar de video de calidad objetiva.
- Realizar la implementación de los escenarios presentados en este trabajo de investigación para comparar los resultados obtenidos de las simulaciones y validarlos con la opinión de un médico especialista.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo Ortuño, 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 de Educación Superior de Ensenada, B.C., México. 113 p.
- Baldi M., Ofek Y., 2000. *End-to-End Delay Analysis of Videoconferencing over Packet-Switched Networks*. *Transacciones en Red, IEEE*. 8(4): 479-492 p.
- Bronzino J.D., 2000. *The Biomedical Engineering Handbook*, CRC Press LLC y IEEE Press. Segunda edición. Florida. 192 p.
- 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*. Reporte Técnico, Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Enseanda, B.C., México. 6 p.
- Callyam P., Lee C.G., 2005. *Characterizing Voice and Video traffic behavior over the Internet*. International Symposium on Computer and Information Sciences (ISCIS). Proceedings published by Imperial College Press in a special edition of "Advances in Computer Science and Engineering" Book Series. 12 p.
- Casner S., Jacobson V., 1999, *RFC 2508: Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links*.

-
- Choi Y.B., Krause J.S., Seo H., Capitan K.E., Chung K., 2006. *Telemedicine in the USA: Standarization through Information Management and Technical Applications*, IEEE Communications Magazine. 7(4): 41-48 p.
 - Claypool M., Tanner J., 1999. *The Effects of Jitter on the Perceptual Quality of Video*, ACM Multimedia Conference. Orlando, Florida, USA. 2: 4 p.
 - 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. 9 p.
 - Fitzek F., Reisslein M., 2000. *MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation*, Dept. de Ingeniería Electrónica, Grupo de Redes de Telecomunicaciones, IEEE TU Berlin, 15(6): 40-54.
 - García R.A., 2006. *Análisis de Parámetros de Calidad de Servicio en Videoconferencia y otras Aplicaciones Médicas a distancia sobre Enlaces Satelitales* . Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Enseanda, B.C., México. 136 p.
 - Gómez A.O., Ramirez M., Villagomez A., García E., 2004. *National Tele-Health Program in México*, Instituto de Seguro y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE), UNAM., México. 9 p.
 - González Pacanowski A., 2005. *La información digital en línea en medicina y salud: Conceptos, métodos y evaluación*. Tesis Doctoral. Universidad de Pompeu Fabra, Barcelona España. 425 p.
 - Grossman D., 2002, *RFC 3260: New Terminology and Clarifications for Diffserv*.

-
- Heinanen J., Baker F., Weiss W., Wroclawski J., 1999, *RFC 2597: Assured Forwarding PHB Group*.
 - Hurtado Pérez, C., 2004. *Metodología para la obtención de umbrales de Calidad de Servicio (QoS) en los servicios de Tecnologías de la Información*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación Científica de Educación Superior de Ensenada, B.C., México. 86 p.
 - ITU Cuestión J/16, 2004. *Marco multimedios para aplicaciones de ciber salud (Nueva Cuestión)*, Oficina de Normalización de las Telecomunicaciones, circular 217 de la TSB.
 - ITU-T Rec. G.114, 2000. *One-way Transmission Time*, ITU Geneva.
 - ITU-T Rec. G.722, 1996. *7 KHz. audio-coding within 64 Kbit/s*, ITU Geneva.
 - ITU-T Rec. H.263, 1996. *Video Coding for Low Bit Rate Communication*, ITU Geneva.
 - ITU-T Rec. H.323, 2000. *Packet-based Multimedia Communication System*, ITU Geneva.
 - ITU-T Rec. T.120, 1996. *Data Protocols for Multimedia Conferencing*, ITU Geneva.
 - Jacobson V., Braden R., Borman D., 1992. *RFC 1323: TCP Extensions for High Performance*.
 - Liang Y.J., Apostolopoulos J.G., Girod B., 2003. *Analysis of Packet Loss for Compressed Video: Does Burst-Length Matter?*. Proceedings IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP-2003 Hong Kong. 5: 684-7 p.

-
- Oppenheim A., Willsky A., 1998. *Señales y Sistemas*. Prentice Hall Hispanoamericana, Segunda edición. México. 992 p.
 - Papoulis A., Pillai S.U., 1991. *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. McGraw-Hill. Tercera Edición. New York. 576 p.
 - Postel J., 1980. *RFC 768: User Datagram Protocol*.
 - Gómez G.A., 2007. *Programa Nacional de Telesalud. Introducción*, ciberhabitat.gob.mx/hospital/telesalud/index.html, consultado en abril 2007.
 - QWEST Communications Corporation Internet Network Acuerdo de Nivel de Servicio, 2004.
 - Salazar A., Kopec A., 2000. *Aplicaciones de Telecomunicaciones en Salud en la subregión Andina*. Organismo Andino de Salud, Convenio Hipólito Unanue.
 - Schulzrinne H., Casner S., Frederick R., Jacobson V., 2003. *RFC 3550: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*.
 - Tandberg, 2004. *MPS User Manual*. Universidad de California, EUA. 73 p.
 - Tanenbaum A.S., 1997. *Redes de Computadoras*. Prentice Hall. Tercera edición. México. 813 p.
 - Villalpando M., 2001. *Sistemas de telediagnóstico: Maletín médico de ingeniería aplicada*. Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica. México. 22(2): 107 – 113 p.
 - Viruete E., Ruiz J., Fernández J. y Pena C., 2005. *Enhanced 3G-Based m-Health System*. Serbia & Montenegro IEEE. Belgrado. 4 p.

Apéndice A. Estándar H.323

H.323 es un estándar que especifica los componentes, protocolos y procedimientos que proveen servicios de comunicaciones multimedia, es decir en tiempo real de audio, video y datos, sobre redes de paquetes, incluyendo protocolo de Internet (IP). H.323 es parte de una familia de recomendaciones de la ITU-T llamadas H.32x que proveen servicios de comunicación multimedia sobre una variedad de redes.

H.323 puede ser aplicado en una variedad de mecanismos:

- Sólo audio (telefonía IP)
- Audio y video (videoconferencia)
- Audio y datos
- Audio, video y datos

Una de las fundamentales metas en el desarrollo del estándar H.323 fue “interoperabilidad” con otras redes de servicios de multimedia. Esta interoperabilidad es llevada a cabo a través del uso de un gateway, permitiendo de esta manera que los usuarios puedan comunicarse sin preocuparse con problemas de compatibilidad.

El estándar H.323 especifica cuatro tipos de componentes, los cuales proveen servicios de comunicación multimedia punto a punto y punto a multipunto.

1. Terminales. Su función es bidireccional para permitir que cualquier terminal pueda interoperar, por lo que todos deben tener un mínimo denominador, soportar voz y un CODEC para compresión de audio. De esta manera el soporte para video y datos es opcional para una terminal H.323.

Todas las terminales deben soportar H.245, que es un protocolo de control usado en el establecimiento y control de una llamada. Otros tres componentes requeridos son: Q.931 para señalización y configuración de llamada; un componente llama RAS, que es un protocolo usado para comunicar con el Gatekeeper y por último, soporte para RTP/RTCP para secuenciar paquetes de audio y video.

2. Gateway. Provee traducción de protocolos para establecer llamadas y liberarlas, así como conversión de formatos media entre diferentes redes, y el traslado de información entre H.323 y redes que no trabajan con H.323.

Las terminales se comunican con los gateways usando el H.245 y el H.225, que es el protocolo de control de llamada que permite establecer una conexión y una desconexión.

Un gateway puede soportar varias llamadas simultáneas entre el H.323.

3. Gatekeeper. Son opcionales, pero también son el elemento más importante de una red H.323. Una característica de ellos es el ruteo de llamadas de señalización. El ruteo de las llamadas a través de gatekeepers proveen mejor funcionamiento en la red, como el gatekeeper puede tomar las decisiones de ruteo basadas en una variedad de factores.

Los servicios ofrecidos por un gatekeeper son definidos por RAS e incluyen traducción de direcciones, admisiones de control, control de ancho de banda y administración de zona. Si se enruta la llamada por un gatekeeper, ésta puede ser controlada más eficientemente.

4. Unidad de Control Multipunto (MCUs). Es el sistema encargado del control de las conferencias múltiples, proporciona todos los servicios para establecer comunicaciones multipunto.

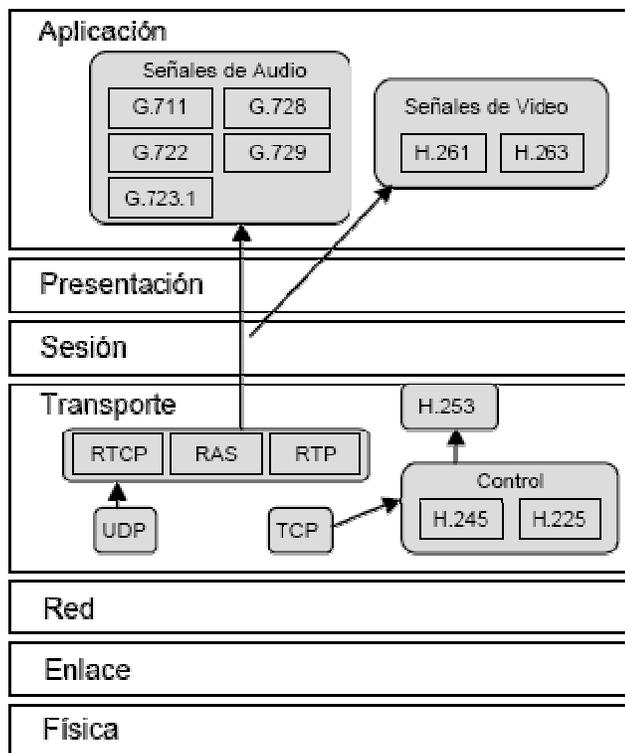


Figura 44. Arquitectura H.323 dentro del modelo OSI.

La Figura 44 muestra como están ubicados cada uno de los elementos de la arquitectura H.323 dentro del modelo de referencia de OSI.

Se observa que es un conjunto de protocolos “multi-capa”, que tocan con casi todos los niveles o capas superiores de OSI. Como está pensado para usar como capa de transporte a

TCP/IP, puede usar cualquier protocolo de red y de enlace de datos de los que usa TCP/IP, que son muy diversos.

En la misma Figura 44, en la capa de aplicación se presentan los posibles CODECs a utilizar en la transmisión de información en tiempo real. A continuación se describen sólo los codificadores utilizados en el desarrollo de la tesis.

H.263

H.263 utiliza predicción intercuadro para reducir la redundancia temporal y, la codificación de la Transformada Discreta del Coseno de la predicción de error residual para reducir la redundancia espacial.

La recomendación H.263 describe el CODEC de video y métodos de codificación para la componente de imagen en movimiento de servicios audiovisuales en las tasas de px64 Kbits/s, donde p se encuentra entre los valores de 1 y 30, operando con imágenes basadas en CIF y QCIF.

G.722

G.722 es una recomendación de la ITU-T, el cual lo define como un codificador de calidad para un ancho de banda para conversación. G.722 puede mantener una conversación con un ancho de banda para la señal de audio arriba de 7 KHz.

El sistema del codificador G.722 puede ser usado para trabajar en tres modos: 64, 56 y 48 Kbits/s. Los últimos dos modos permiten un canal auxiliar de datos de 8 y 16 Kbits/s respectivamente, con el canal de 64 Kbits/s.

T.120

Las series de recomendaciones T.120 definen un servicio de comunicación de datos multipunto para uso en ambientes de conferencia multimedia.

Esta recomendación provee facilidades para establecer y administrar comunicaciones interactivas envolviendo 2 o más participantes y entre una variedad de diferentes redes.

Esta recomendación hace provisiones para asegurar interoperabilidad de funcionalidad comúnmente requerida tal como transferencia de archivo e intercambio de imágenes fijas.

Finalmente, el conjunto de protocolos H.323 puede ser usado sobre cualquier red de transporte basada en paquetes como Ethernet, TCP/UDP/IP, ATM y Frame Relay, para proveer comunicación multimedia en tiempo real.

Apéndice B. Compresión del Servicio de Video sobre IP

En este apéndice se introducen los conceptos básicos para la compresión del servicio de video sobre IP.

Como toma imagen, un cuadro (frame) de una secuencia de video contiene información redundante. Suprimiendo dicha información la calidad no se ve muy deteriorada, y se reduce la información a transmitir. Para ello se utilizan transformadas invertibles de matrices en matrices que lo que hacen es tomar una matriz y obtener otra cuyos coeficientes de valor numérico significativo son pocos y se encuentran concentrados en las primeras posiciones. Estos coeficientes son los que en definitiva se transmitirán. Por lo general se utiliza la transformada del coseno discreta (DCT – Discrete Cosine Transform), ecuación 10, debido que sólo se utilizarán números reales.

$$\pi \sum_{l=-\infty}^{+\infty} \{\delta(\omega - \omega_0 - 2\pi l) + \delta(\omega + \omega_0 - 2\pi l)\} \quad (10)$$

Dado que el costo del algoritmo no es lineal con el tamaño de la matriz a transformar, se divide la imagen en matrices de 8x8 (a veces 16x16) llamadas Macro-Bloques (MB), y se aplica la transformación a cada uno de éstos por separado. A su vez, cada coeficiente es codificado utilizando VLC (Variable Length Coding – Codificación de Largo Variable), el cual aprovecha el hecho de que es muy probable una sucesión larga de ceros luego de un valor distinto del nulo. Lo que se hace es codificar el valor no nulo y cuántos ceros lo siguen. Esto tiene como contrapartida que no todos los Macro-Bloques tengan la misma cantidad de bits luego de codificados.

Una secuencia tiene información temporal redundante. Para aprovechar este hecho se utiliza la compresión temporal. Ésta consiste en analizar una secuencia de video para que en lugar de transmitir todos los cuadros consecutivos tan solo se codifique un cuadro y la diferencia entre éste y los cuadros cercanos. Por ejemplo, se codifica el cuadro 1 entero y en lugar de codificar el cuadro 2, sólo se codifica aquella información que es distinta entre dichos cuadros. Esto permite que en las secuencias en las que la información es muy redundante (es decir que existen muy pocas variaciones entre cuadros consecutivos) se consigan factores de compresión muy elevados, ya que la diferencia entre ellos es prácticamente nula.

La mayoría de las técnicas de compresión temporal que se utilizan en la actualidad no se basan tan sólo en la codificación de la diferencia entre cuadros consecutivos, sino que lo que codifican es la diferencia entre un cuadro y la predicción del siguiente. Esto eleva mucho el cómputo del procesado y permite obtener a cambio un flujo de datos mucho más reducido y una imagen de calidad óptima.

Existen tres posibilidades para los cuadros:

1. Que sea el cuadro “original”. Es decir, que para decodificar el cuadro no es necesario ningún otro. Estos cuadros son llamados I-pictures (Intra pictures).
2. Que para decodificar el cuadro sea necesario el cuadro anterior porque se transmitió la diferencia entre la predicción a partir de ese cuadro y el de este instante. Estos cuadros son llamados P-picture (predictive picture) y son necesarios menos bits para codificarlos que los cuadros I para la misma calidad.
3. Por último se encuentran los B-picture (Bidirectionally-picture), que para decodificarlas son necesarios tanto el cuadro anterior como el siguiente, pues fue a

partir de ambos que se predijo un valor para el cuadro de este cuadro. Utilizar este tipo de cuadros aumenta el retardo, debido a que es necesario esperar al siguiente cuadro para mostrar el de este instante, aunque tienen como ventaja que son los de mayor compresión de los tres.

Si la compresión espacial es con pérdida, se deben incluir periódicamente cuadros del tipo I-picture. Además, si se quiere recibir una transmisión de video luego de que ésta ya haya comenzado, se debe recibir algún cuadro del tipo I para empezar a decodificar los cuadros P o B. Por último, como cada tipo de cuadro tendrá distinto grado de compresión, esto aumentará el hecho de que cada MB tendrá distinto tamaño en bits luego de codificado.

Además para el macro-bloque a partir del cual se predice sea el más adecuado, se pueden utilizar técnicas de compresión de movimiento para buscar el MB más similar al que se va a predecir.

Por lo tanto, y a modo de resumen, la secuencia típica de un cuadro al ingresar al codificador es (suponiendo que utilizaremos un cuadro tipo P): se predice su valor con el cuadro anterior, se le resta dicha predicción, a ésta se le aplica la DCT y se codifican los coeficientes con VLC, por último se transmite por el canal.

Apéndice C. Digitalización de Imágenes

Digitalización es una de esas palabras que pueden decirlo todo o nada, y aún más cuando se habla de digitalización en sanidad, hay plantearse algún criterio de prioridades.

La radiología – o quizás mejor dicho diagnóstico por imagen – tiene además unas características especiales, ya que genera mucha información, y sobre un soporte caro, pesado y contaminante: la película radiográfica.

Las soluciones de digitalización de diagnóstico por imagen, se denominan RIS (Radiology Information System) y PACS (Picture Archiving and Communication System). El RIS se ocupa de gestionar desde la petición y cita hasta la documentación de la técnica y el informe, pasando por la generación de listas de trabajo. La función del PACS es la de permitir visualizar las imágenes necesarias – actuales e históricas – de forma adecuada para el diagnóstico.

La imagenología digital o radiografía digital, técnica similar a la radiografía (que usa rayos x), pero que procesa las imágenes digitalmente. Con este nuevo sistema ya no será indispensable la placa fotográfica, esa especie de foto gigante en blanco y negro que le entregaban al paciente para que la llevara al médico. Ahora todo será vía computadora, de forma mucho más fácil, rápida, práctica y acorde a los nuevos tiempos.

El principal avance con la imagenología digital radica en la calidad de la imagen obtenida. Una radiografía tradicional puede quedar muy oscura o muy clara, con lo que el médico tiene dificultades para interpretar esa información. Con la nueva técnica se puede manejar la imagen de manera que se vea toda la información, aclarar, oscurecer, cambiar tonalidades, ampliar zonas, lo que con la tecnología anterior era imposible.

Apéndice D. Protocolos de Transporte de Internet

La Internet tiene dos protocolos principales en la capa de transporte, un protocolo orientado a conexiones y uno sin conexiones.

Protocolo de Control de Transmisión –TCP-

El TCP (*Transmisión Control Protocol*, protocolo de control de transmisión) se diseñó específicamente para proporcionar una corriente de Bytes confiable a través de una interred no confiable. Se diseñó el TCP para adaptarse dinámicamente a las propiedades de la interred y para ser robusto ante muchos tipos de fallas.

El TCP se define en el RFC 1323 y se encuentra en la 3era capa del modelo, como se observa en la Figura 45. TCP posee una interfaz con la capa IP, y acepta corrientes de datos de usuario de los procesos locales, los divide en partes que no exceden 64KBytes, generalmente 1500Bytes, y envía cada parte como un datagrama IP independiente. Cuando llegan a una máquina datagramas IP que contienen datos TCP, son entregados a la entidad TCP, que reconstruye las corrientes originales de Bytes.

La capa IP no ofrece ninguna garantía de que los datagramas se entregarán adecuadamente, por lo que es responsabilidad del TCP terminar de temporizar y retransmitirlos según se necesite. Los datagramas que sí llegan pueden hacerlo desordenadamente; también es responsabilidad del TCP reensamblarlos en mensajes con la secuencia adecuada. Por lo tanto, TCP debe proveer la confiabilidad que la mayoría de los usuarios quiere y que el IP no proporciona.



Figura 45. Modelo TCP/IP.

Protocolo de Datagrama de Usuario –UDP-

El grupo de protocolos de Internet también maneja un protocolo de transporte sin conexiones, el UDP (*User Data Protocol*, protocolo de datos de usuario). El UDP ofrece a las aplicaciones un mecanismo para enviar datagramas IP en bruto encapsulados sin tener que establecer una conexión.

Muchas aplicaciones cliente-servidor que tienen una solicitud y una respuesta usan el UDP en lugar de tomarse la molestia de establecer y luego liberar una conexión. El UDP se describe en el RFC 768. Un segmento UDP consiste en una cabecera de 8Bytes seguida de los datos.

UDP no admite numeración de los datagramas, factor que, sumado a que tampoco utiliza señales de confirmación de entrega, hace que la garantía de que un paquete llegue a su destino sea mucho menor que si se usa TCP. Esto también origina que los datagramas

pueden llegar duplicados y/o desordenados a su destino. Por estos motivos el control de envío de datagramas, si existe, debe ser implementado por las aplicaciones que usan UDP como medio de transporte de datos, al igual que el reensamble de los mensajes entrantes.

Es por ello que UDP es un protocolo del tipo best-effort, porque hace lo que puede transmitir los datagramas hacia la aplicación, pero no puede garantizar que la aplicación los reciba.

Tampoco utiliza mecanismos de detección de errores. Cuando se detecta un error en un datagrama, en lugar de entregarlo a la aplicación destino, se descarta.

Cuando una aplicación envía datos a través de UDP, éstos llegan al otro extremo como una unidad. Por ejemplo, si una aplicación escribe cinco veces en el puerto UDP, la aplicación al otro extremo hará cinco lecturas del puerto UDP. Además, el tamaño de cada escritura será igual que el tamaño de las lecturas.

Protocolos de Tiempo Real sobre IP

Los protocolos de tiempo real para la transmisión de audio y video por Internet se definen dentro de la RFC 1880 (actualizada en la RFC 3550). Esta recomendación incluye dos protocolos que constituyen el estándar: RTP (*Real Time Protocol*) y RTCP (*Real Time Control Protocol*). El RTP regula el intercambio de información en diferentes formatos (audio y video). El RTCP regula la comunicación de control que se establece entre los extremos, en paralelo con la transmisión de información.

La norma no establece qué protocolos deben utilizarse en las capas inferiores, por debajo de RTP/RTCP; sin embargo, en la mayor parte de los casos se emplea UDP.

Protocolo de Tiempo Real –RTP-

Este protocolo es utilizado generalmente sobre UDP, segmentos de datos de video o audio son generados por el transmisor de la aplicación multimedia, estos segmentos son encapsulados en paquetes RTP, y cada paquete RTP es luego encapsulado en segmentos UDP. Como RTP provee servicios a la capa de aplicación, puede ser visto como una subcapa de la capa de transporte, como se muestra en la Figura 46.

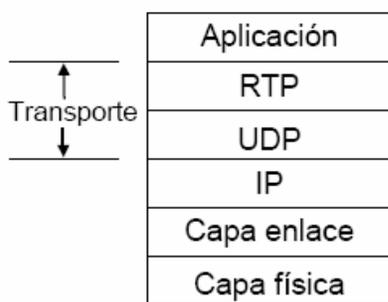


Figura 46. Modelo TCP/IP mostrando las subcapas de la capa de Transporte.

Desde la perspectiva del desarrollo, RTP no forma parte de la capa de transporte pero sí de la parte de la capa de aplicación, se debe escribir el código que encapsula los segmentos de contenido multimedia en paquetes RTP, la aplicación envía luego estos paquetes por medio de un encapsulado UDP.

RTP no provee ningún mecanismo para garantizar la entrega, ni para garantizar el orden de los paquetes. Es más, el encapsulamiento RTP sólo es visto en las “puntas” del sistema, los enrutadores no distinguen entre datagramas que llevan carga RTP y los que no. Cada fuente de contenido multimedia tiene su propio stream de paquetes RTP, en una videoconferencia

entre dos participantes se pueden abrir cuatro streams RTP, dos para el audio y dos para el video (uno para cada lado)

Protocolo de Control RTP –RTCP-

El RTCP se basa en la transmisión periódica de paquetes de control a todos los participantes de la sesión, utilizando el mismo mecanismo de transporte que los paquetes RTP. Utiliza un puerto distinto que RTP, por lo general se utilizan puertos consecutivos donde el par asignado a el flujo RTP y el impar al flujo RTCP.