



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Evaluación de la calidad del servicio
de voz entre Redes de Nueva
Generación**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Gabriel Huichan Muñoz

ASESOR DE INFORME

M.I. Juventino Cuellar González



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Agradecimientos

A mis padres y a mi hermana por su infinito cariño y apoyo.

A mis amigos Gaby, Sofía, Carlos y Pepe por su invaluable compañía.

*A los profesores del Departamento de Telecomunicaciones por todo el conocimiento
compartido.*

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Índice

1. Introducción	1
1.1 Objetivo del reporte	1
1.2 Descripción del puesto de trabajo	1
2. Relevancia de la Regulación Técnica	3
2.1 Planteamiento de la problemática	3
2.2 Justificación de la propuesta.....	3
3. Contexto de las redes de telefonía actuales	6
3.1 Redes legadas y su transición hacia IP.....	6
3.2 Redes NGN.....	8
3.3 Telefonía IP contra Telefonía por conmutación de circuitos	10
4. Elementos a evaluar para determinar la calidad de los servicios de voz entre redes NGN	12
4.1 Determinación de la calidad.....	12
4.2 Nivel de Transporte	13
4.3 Señalización.....	15
4.4 Codificación de la voz.....	21
4.5 Session Border Controller.....	23
5. Propuesta de metodología para la evaluación de la calidad del servicio de voz entre redes de nueva generación.	27
5.1 Alcance, criterios y consideraciones	27
5.2 Metodología	28
A. Información General.....	29
B. Secuencia de pruebas de medio	32
C. Secuencia de pruebas de llamadas.....	33
6. Conclusiones	43
7. Anexos	44
ANEXO I Matriz de llamadas para validación de intercambio de tráfico	44
ANEXO II Trazados de llamadas.....	47
8. Bibliografía	52
9. Acrónimos y siglas	54

1. Introducción

1.1 Objetivo del reporte

El presente reporte contiene una propuesta de marco de referencia técnico para el establecimiento de una metodología que permita evaluar los distintos factores y elementos técnicos que están involucrados en el intercambio de tráfico de voz y señalización entre redes de telecomunicaciones, en el actual contexto de evolución tecnológica hacia redes de nueva generación basadas en tecnología IP.

1.2 Descripción del puesto de trabajo

Actualmente me desempeño profesionalmente como Ingeniero Analista en temas técnico-regulatorios. Por motivo de acuerdos de confidencialidad celebrados con la organización para la cual laboro, se omite su nombre, así como toda información sensible y confidencial de dicha organización, siendo este informe un documento exclusivamente de carácter académico. Para fines de referencia en el desarrollo del informe, dicha organización se denominará "Tel Aleph".

Tel Aleph es una organización dedicada al análisis y consultoría especializada en la rama de telecomunicaciones, la cual realiza estudios y propuestas de carácter técnico, económico y legal enfocados en la regulación del mercado de telecomunicaciones. Su propósito es brindar información eficaz y efectiva que sirva como base para toma de decisiones de carácter estratégico que tengan impacto positivo frente a los retos del competitivo sector de las telecomunicaciones.

Los análisis y estudios realizados por Tel Aleph, abordan los principales servicios de telecomunicaciones ofrecidos por la industria de nuestro país, observando la regulación vigente y las condiciones de competencia de este mercado, por lo que sus estudios y propuestas abarcan servicios esenciales como enlaces de datos, telefonía fija y móvil, VoIP, hasta el análisis integral de todos los elementos que conforman una red de telecomunicaciones de nueva generación en sus distintos niveles de red, para ser aterrizado en el análisis de los nuevos paradigmas de las telecomunicaciones, como son la convergencia de servicios, puntos de intercambio IXP, VoLTE, IoT, entre otros.

Dentro de las responsabilidades como Ingeniero Analista que corren a mi cargo dentro de Tel Aleph, se encuentra el realizar la sustentación técnica para los distintos estudios y análisis requeridos a esta organización, en específico los relacionados con servicios de voz sobre IP, para lo cual realizo la caracterización de servicios de telecomunicaciones a través de la identificación de los equipos involucrados en la prestación de los mismos,

análisis y propuesta de parámetros de configuración, evaluaciones de capacidades y requerimientos de infraestructura necesaria para el despliegue de estos servicios, así como dimensionamientos y alternativas para proveer diferentes soluciones técnicas, entre otros aspectos que deben ser examinados con el fin de proveer a otras áreas de trabajo la información técnica que les permita establecer las propuestas legales y económicas que en su momento se encuentren bajo estudio.

2. Relevancia de la Regulación Técnica

2.1 Planteamiento de la problemática

El constante crecimiento y evolución de las telecomunicaciones ha sido tal que su integración en las diversas actividades de los agentes productivos, académicos, sociales y del Estado, hoy en día es prácticamente total. El desarrollo de las nuevas tecnologías que nos permiten comunicarnos a la distancia nos lleva a la imperiosa necesidad de crear y actualizar constantemente un marco legal integrado por leyes, reglamentos, normas y lineamientos que permitan que las bondades tecnológicas de las telecomunicaciones continúen desarrollándose y que éstas se traduzcan en beneficios para la sociedad.

Uno de los aspectos fundamentales que deben ser regulados es la manera en que las redes que proveen el servicio de telefonía interactúan, dado que su correcta interacción e interoperabilidad permitirá a los usuarios de una red poder comunicarse con los usuarios del resto de las redes existentes, independientemente de las arquitecturas o tecnologías que individualmente maneje cada uno de los proveedores de este servicio, por ejemplo, servicios fijos interactuando con servicios móviles de distintas generaciones celulares. Es por ello que la regulación de los distintos elementos que participan en este proceso de interoperabilidad requiere abordarse desde múltiples ángulos, por lo cual debe analizarse desde lo técnico, lo económico y lo social, para asegurar que cuando dos redes se interconectan, los servicios sean prestados eficientemente y de acuerdo a determinados parámetros de calidad.

Aunado a lo anterior, con la aparición de nuevas tecnologías más eficientes respecto a la telefonía tradicional y la orientación de la industria hacia la convergencia de los distintos servicios de telecomunicaciones, ha dado lugar a nuevos paradigmas en cuanto al establecimiento de los elementos que deben ser considerados y evaluados al momento de interconectar redes de telecomunicaciones. En este sentido, las especificaciones técnicas y parámetros de calidad de los servicios de telecomunicaciones son un tema de crucial importancia en el quehacer de los órganos reguladores de este sector.

2.2 Justificación de la propuesta

Históricamente, en nuestro país o en cualquier otro, puede observarse que la ausencia de instrumentos regulatorios que vigilen adecuadamente las reglas a través de las cuales los participantes del mercado de telecomunicaciones interactúan, como al

momento de interconectar sus redes, se traduce en fortalecer las ventajas naturales que el operador dominante ya tiene respecto a sus competidores, el cual, a través de prácticas ventajosas puede aumentar su fortaleza viciando el mercado en perjuicio del usuario final.

Hablando específicamente de la necesidad de interconectar todas las redes de servicios de telefonía, algunas de las prácticas en las que puede incurrir un agente dominante con el fin de imponer barreras de entrada a sus competidores y que la regulación debe evitar son:

- Retraso y demoras injustificadas para efectuar la interconexión con otras redes.
- Encarecimiento de los enlaces, insumos y servicios necesarios para interconectar sus redes.
- **Degradación en la calidad de los servicios prestados a otras redes de telecomunicaciones.**
- Definición de puntos de conexión de difícil acceso para los competidores.
- Manejo de tecnologías cerradas o propietarias que impiden la interoperabilidad entre las distintas redes.
- Negativa a las solicitudes de interconexión con otras redes.

Dado que la comunicación entre los usuarios de los distintos proveedores de servicio puede verse afectada por estos posibles escenarios, las normas que regulen la manera en que se interconectan las redes y la calidad bajo la cual se establecen deben buscar inmediatez y eficiencia técnica. Demorar, encarecer o **prestar estos servicios con una mala calidad** genera graves efectos de distorsión, al tiempo que entorpecen la competitividad del sector, las barreras al acceso digital se incrementan y el desarrollo de distintos sectores económicos, educativos y sociales se ve afectado.

Es por ello que los reguladores deben generar las herramientas legales y normativas que eliminen estas barreras, con el fin de generar la competencia que derive en mejores servicios de calidad a precios competitivos y justos, en beneficio de los usuarios.

Al respecto, la regulación del sector de telecomunicaciones de nuestro país, ha tenido grandes avances en este tema, dado que desde la creación del Instituto Federal de Telecomunicaciones y la promulgación de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión, este órgano regulador ha emitido diversos acuerdos y resoluciones, en los que se ha determinado, por ejemplo, la existencia de un Agente Económico Preponderante que es regulado asimétricamente a través de obligaciones específicas, como la eliminación del cobro de la tarifa por terminación de tráfico de voz en su red, la obligación de prestar el servicio de interconexión mediante tecnología IP, la definición de los puntos de interconexión bajo esta tecnología a lo largo del territorio nacional, así

como obligaciones de carácter general para todos los concesionarios de redes públicas de telecomunicaciones, como la determinación de las condiciones técnicas mínimas que rigen la manera en que los concesionarios deben efectuar la interconexión entre sus redes.

Es por ello que, este tipo de determinaciones deben ser acompañadas de las metodologías que permitan realizar la evaluación del cumplimiento de las distintas obligaciones impuestas a los actores de este importante sector productivo del país. El desarrollo presentado a continuación, plantea un marco teórico con los elementos técnicos más relevantes que intervienen en el intercambio de tráfico de voz sobre IP, para continuar con una propuesta de las pruebas y evaluaciones cuantitativas que pueden ser ejecutadas para calificar la eficacia y calidad del intercambio de tráfico y señalización entre redes de proveedores de servicios.

3. Contexto de las redes de telefonía actuales

3.1 Redes legadas y su transición hacia IP

Para los proveedores de servicios de telefonía, de servicios móviles como fijos, la tendencia actual a nivel internacional es la gradual transformación de las core networks encargadas de realizar el transporte del tráfico de servicios de voz y que se encuentran basadas en tecnologías como TDM (Time Division Multiplex) o ATM (Asynchronous Transfer Mode), hacia tecnologías de transporte basadas en IP. El incremento en la base de suscriptores y con ello en la demanda de servicios de voz, ha generado la necesidad de prestar soluciones de voz que hagan un uso más eficiente del ancho de banda de los medios y que simplifiquen la infraestructura a través de la cual proveen los servicios, pero al mismo tiempo incrementando la oferta y calidad de los mismos, por lo cual, los proveedores de servicios se encuentran obligados a migrar sus redes hacia plataformas de arquitectura all-IP, con el propósito de poder ser competitivos en el actual mercado de las telecomunicaciones.

Como se muestra en la Figura 1, las redes de accesos pueden corresponder a distintas tecnologías y el tráfico que generan converge el núcleo transporte, en el cual dependiendo del tipo de servicio, podrán ser aplicados diferenciadores para el tratamiento del mismo, pero todo a través de una misma red de transporte IP, evitando así la necesidad de contar con redes independientes para los distintos tipos de servicios y los diversos tipos de accesos existentes.

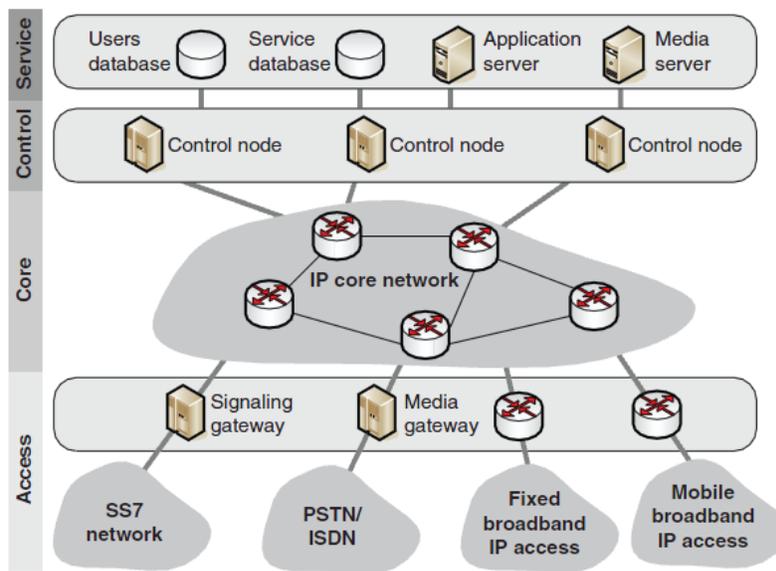


Figura 1: Concepto de Red all-IP. [1]

El uso de tecnología IP para el intercambio de servicios de voz tiene las siguientes ventajas sobre la tecnología legada:

- Optimización del ancho de banda: a través del uso de diversos codecs de voz.
- Flexibilidad: IP permite mayor flexibilidad en el diseño de arquitecturas y soluciones para la provisión de nuevos servicios.
- Servicios multimedia: Convergencia de distintos servicios multimedia a través de la misma plataforma.
- Reducción de costos: Las inversiones en operativas y de activos de los proveedores de servicios se reducen al simplificar su infraestructura y procesos.

Hoy día, la mayor parte de las soluciones para el intercambio de tráfico entre las distintas redes de proveedores de servicios de voz se encuentran establecidas a través de conexiones TDM que hacen uso del Sistema de Señalización por canal común No. 7 (SS7) y en la cual, la voz se encuentra codificada mediante el uso del códec G.711. Sin embargo, con la natural evolución y convergencia de las plataformas de servicios, los cuales se orientan a la utilización de tecnología basadas en protocolos IP, el paso eventual es la evolución de los esquemas de intercambio de tráfico hacia plataformas basadas en el uso de tecnología IP, aunque los niveles de red correspondientes a las redes de acceso desplegadas hasta los equipos terminales de los usuarios, e incluso tramos correspondientes a la red de transporte y centrales telefónicas continúen manejando tecnología legada.

Por ejemplo, la Figura 2 muestra la interoperabilidad entre una red IP con la PSTN legada. En este escenario, la señal de audio paquetizada que es transportada a través de la red IP es convertida en el Media Gateway (MGW) a una llamada basada en TDM, mientras que el Signaling Gateway (SGW), en asociación con el módulo Media Gateway Controller Function (MGCF), realiza el pareo y traducción entre los protocolos de señalización pasando de SIP hacia señalización SS7 para la red basada en circuitos.

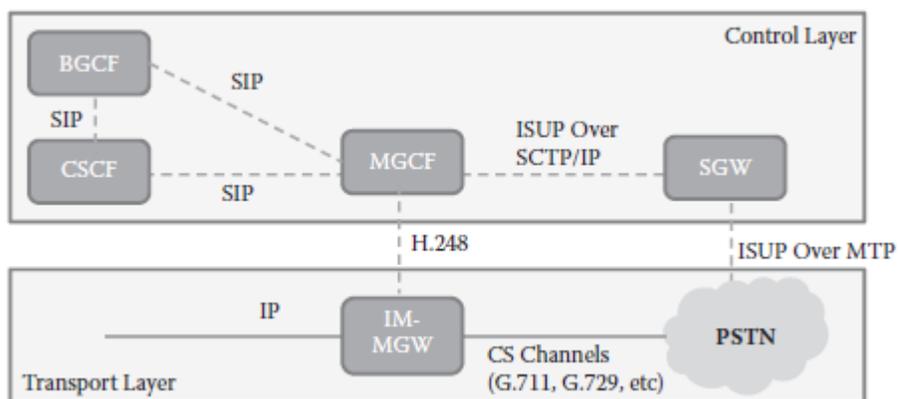


Figura 2: Interoperabilidad entre una red IP y una red legada. [2]

Esto convierte a las redes de los proveedores de servicios en escenarios multiplataforma donde conviven distintas tecnologías. Para tal efecto, deben considerarse, no únicamente la tecnología de transporte del tráfico de voz y los protocolos de señalización, es necesario analizar los distintos elementos que intervienen en la interacción de dos distintas redes, siendo que para la correcta interoperabilidad de las redes interconectadas que intercambian tráfico de voz encontramos:

- Tecnología de transporte
- Protocolo de señalización
- Ancho de banda de los enlaces
- Procesos de transcodificación requeridos
- Interoperabilidad con tecnologías legadas como fax y tonos DTMF
- Niveles de calidad de los servicios
- Esquemas de redundancia
- Convergencia de servicios
- Proyecciones e incrementos en la demanda de servicios

Esta interoperabilidad entre distintas plataformas, así como el incremento en la demanda de capacidades y convergencia de servicios, ha empujado a una gradual transformación en las arquitecturas de las redes. Actualmente, la tendencia internacional es el despliegue de las denominadas Redes de Nueva Generación (NGN, por sus siglas en inglés), las cuales están basadas en el uso de tecnología IP en su nivel de transporte y en el desarrollo de una plataforma para la convergencia de todos los tipos de servicios existentes y futuros y con un control en la calidad de servicio de cada uno.

3.2 Redes NGN

La UIT, a través de su iniciativa de estándares globales, ha definido a las redes NGN como:

“Una Red de Siguiete Generación es una red basada en la transmisión de paquetes capaz de proveer servicios integrados, incluyendo los tradicionales telefónicos, y capaz de explotar al máximo el ancho de banda del canal haciendo uso de las Tecnologías de Calidad del Servicio (QoS) de modo que el transporte sea totalmente independiente de la infraestructura de red utilizada. Además, ofrece acceso libre para usuarios de diferentes compañías telefónicas y apoya la movilidad que permite acceso multipunto a los usuarios.” [3]

La evolución de la infraestructura legada de las redes PSTN y PLMN hacia redes NGN, se ha ido desarrollando paulatinamente, a través del reemplazo gradual de los sistemas de transporte e interfaces basados en tecnología TDM, como el transporte a través de la jerarquía SDH, de los sistemas de conmutación de circuitos y de los sistemas de señalización por canal común, como SS7, por sistemas de transporte basados en tecnología IP sobre DWDM, conmutación de paquetes como IP/MPLS y señalización SIP. En la Figura 3 se puede encontrar una analogía entre los elementos que conforman el concepto de NGN contra PSTN.

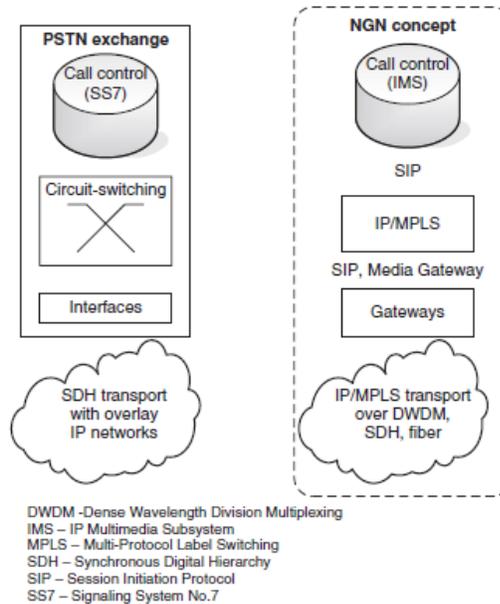


Figura 3: Concepto de red NGN. [1]

La actual industria de los proveedores de servicios de telecomunicaciones se caracteriza por su rápido crecimiento motivado por el incremento en la demanda de ancho de banda y en la calidad de los servicios requerida por los usuarios. Asimismo, la aparición de nuevos servicios de comunicación cada vez más sofisticados, como voz sobre IP, video en tiempo real, diversos y cada vez más sofisticados sistemas de mensajería, se traducen en el uso intensivo de la actual infraestructura de telecomunicaciones. Este escenario, plantea un reto importante a las tecnologías de comunicación legadas, basadas en redes por conmutación de circuitos, dado que, por sus características técnicas, no pueden atender cabalmente los requerimientos operativos que estos servicios necesitan para ser utilizados por los usuarios finales, pero que tampoco pueden ser desechadas al instante debido al alto grado de inversión monetaria que conlleva la migración hacia redes basadas en tecnología de nueva generación.

3.3 Telefonía IP contra Telefonía por conmutación de circuitos

Entre las ventajas que presenta la actual tecnología de conmutación de paquetes contra la conmutación de circuitos, se encuentra un mejor aprovechamiento de la infraestructura de enlaces que permiten el intercambio de tráfico de voz entre prestadores de servicios. En este sentido, es sabido que mientras la tecnología de telefonía legada hace uso de una capacidad establecida de 64 kbps por cada llamada, la telefonía basada en tecnología IP utiliza un ancho de banda en función del códec que se utilizado para cada sesión de voz, existiendo múltiples opciones de acuerdo a la calidad de audio que se busque brindar en la prestación del servicio.

Para ejemplificar lo anterior, se presenta el análisis realizado para dimensionar el número de líneas que se requieren para soportar determinado volumen de tráfico de voz comparado contra la capacidad del enlace bajo tecnología ethernet e IP que puede soportar el mismo volumen de tráfico.

Inicialmente determinados la demanda de tráfico en la hora pico de operación, BHT (por sus siglas en inglés, Busy Hour Traffic) para lo cual usamos la siguiente expresión:

$$BTH = \frac{\text{Duración promedio [s]} * \text{Número de llamadas por hora}}{3600 \text{ [s]}} \quad (1)$$

Suponiendo que un grupo de troncales de voz reciben 400 llamadas en una hora y la duración promedio de las llamadas es de 180 segundos, el volumen de tráfico que necesita ser atendido es de:

$$BTH = \frac{180[s] * 400}{3600 [s]} = 20 \text{ Erlangs} \quad (2)$$

Ahora, considerando que las llamadas que sobrepasen la capacidad asignada serán bloqueadas y que se desea contar un grado de servicio en el cual el porcentaje de bloqueo de llamadas sea como máximo el 1% de las llamadas recibidas, se realiza el cálculo con base en las tablas de Erlang B, con lo cual obtenemos que el número de líneas que se requieren para soportar un tráfico de 20 Erlangs es de 30 circuitos de voz. En este sentido, podemos decir que se requiere de un E1 para atender el tráfico planteado en el ejemplo anterior.

Ahora, si trasladados el mismo volumen de tráfico TDM a tecnología de VoIP y considerando la utilización del códec G.729, el cual, bajo una configuración estándar,

genera una ocupación de ancho de banda aproximado de 32 kbps, con un enlace de basado en tecnología ethernet de 2.048 Mbps y a través del protocolo IP se podrían establecer el doble de sesiones de voz comparado contra TDM, con la ventaja que la calidad del audio y el consumo del ancho de banda pueden ser optimizados de acuerdo al servicio que se desee brindar.

Por otro lado, desde el punto de vista económico, considerando la tendencia a la baja de los costos de renta de los enlaces dedicados basados en ethernet e IP, podemos comparar las capacidades que brinda un enlace con capacidad de 1 Gbps de dicha tecnología contra un enlace dedicado de 1 E1. Pensando en la ocupación de estas tecnologías durante la jornada laboral de 8 horas diarias como el periodo de tiempo donde se cursa mayor volumen de tráfico se puede calcular lo siguiente:

Dado que la capacidad de un enlace E1 es de 31 canales y considerando que la ocupación de la capacidad es total durante las 8 horas laborables, tenemos que:

- o $31 \text{ Erlangs} \times 60 \text{ s} = 1,860 \text{ minutos}$
- o En 8 horas $1,860 \times 12 = 14,480 \text{ minutos}$

Para el caso de VoIP, utilizando el códec G.729, la capacidad del enlace es de aproximadamente 33000 canales, tenemos que:

- o $33000 \text{ Erlangs} \times 60 \text{ s} = 1,980,000 \text{ minutos}$
- o En 8 horas $1,980,000 \times 8 = 15,840,000 \text{ minutos}$

De lo anterior puede observarse claramente que la utilización de tecnología IP en el transporte de tráfico es claramente superior, y se concluye que para poder igualar la capacidad de tráfico que un enlace de 1 Gbps permite cursar, serían necesarios más de 1000 enlaces de la jerarquía E1, lo cual se traduce en ineficiencias tanto de carácter técnico como económico.

A lo anterior debe sumarse que la tecnología IP, debido a la aceptación de su uso en la industria de las telecomunicaciones, ha reducido el costo de sus equipos, es fácilmente escalable, permite la convergencia de múltiples servicios, y la calidad de los servicios prestados sobre esta plataforma es igual o incluso mejor que la telefonía tradicional, dependiendo de los recursos de disponibilidad de ancho de banda y procesamiento que le sean asignados.

4. Elementos a evaluar para determinar la calidad de los servicios de voz entre redes NGN

4.1 Determinación de la calidad

Los mecanismos a través de los cuales se intercambia el tráfico de voz entre redes basadas en arquitectura IP, deben asegurar como mínimo la misma calidad y confiabilidad que se alcanza con las redes TDM. Al momento de tratar de determinar cuáles son los elementos que deben tomarse en consideración para evaluar la calidad del servicio de voz que es intercambiado entre los proveedores de servicios, debe tenerse en cuenta que la calidad final del servicio depende de un gran número de elementos que constituyen no solamente el punto de intercambio de tráfico, también incluye a todos los elementos y a la propia calidad de servicio de cada una de las redes a través de la cual pasa el tráfico de voz, siendo que, en su conjunto, la suma de estos elementos determinará la calidad del servicio que reciben los usuarios finales.

De manera general, la calidad del intercambio de tráfico entre redes dependerá de la calidad y métodos utilizados para transportar el tráfico de voz hasta el punto de intercambio, la eficiencia de la señalización utilizada, la calidad de la codificación de la voz y de los mecanismos de seguridad empleados para asegurar la continuidad en el intercambio de tráfico. Lo anterior se ejemplifica en la Figura 4.

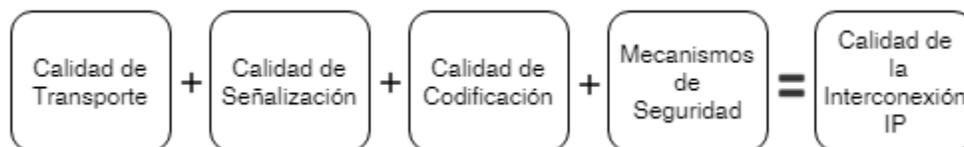


Figura 4: Calidad de la interconexión. [4]

La Calidad de Servicio (QoS, por sus siglas en inglés), es la medida de los atributos y características de un servicio que es experimentado por un usuario, por lo que la aplicación de técnicas y protocolos de QoS por parte de un proveedor de servicios, se realiza con el fin de asegurar que los recursos a través de los cuales se presta un servicio sean los suficientes para mantener un umbral de calidad determinado. Por lo que respecta a servicios de telefonía provistos a través IP, el concepto de QoS cobra especial relevancia, al tratarse de un servicio que, por sus características de transmisión en tiempo real, es muy sensible a la falta o deficiencia de recursos de las redes, los cuales deben ser monitoreados en los distintos niveles de la red que presta dicho servicio.

4.2 Nivel de Transporte

Con el fin de determinar la calidad del servicio a nivel de los enlaces de transmisión que conducen los paquetes de voz, los proveedores de servicios deben tener presente una correcta administración del ancho de banda para que este será suficiente de acuerdo al volumen de llamadas que puedan ser cursadas en la BHT (Busy Hour Traffic), así como que los equipos encargados de realizar este transporte y procesamientos como enrutamientos y codificaciones, introduzcan el menor tiempo de retraso al sistema de transmisión. Con el fin de monitorear efectivamente la calidad a nivel de transporte, debe considerarse la medición de los parámetros de calidad que se señalan a continuación:

Parámetros de calidad de servicio a nivel de transporte:

Latencia

En el establecimiento de una sesión de voz, la latencia o retardo se define como el tiempo que tarda un paquete en llegar desde su origen hasta su destino y está compuesto por el retardo de transmisión, el retardo por encolamiento, el retardo de procesamiento y el retardo por propagación.

El retardo por transmisión depende directamente de la capacidad del canal, dado en bits por segundo, que es capaz de transmitir. El retador por encolamiento, corresponde a los paquetes que son almacenados en buffer antes de poder ser procesados. El retardo por procesamiento se genera debido a los procesos lógicos que son realizados sobre los paquetes como al momento de agregar o quitar encabezados y en la codificación y decodificación de las señales de voz. Por último, el retardo por propagación depende de la distancia que debe ser recorrida por el paquete y las características del medio a través del cual es transmitido.

De acuerdo con la recomendación G.114 de la UIT [5], en el retardo de transmisiones en un sentido para el servicio de voz, un retardo a partir de los 150ms comienza a tener un impacto negativo en la calidad de la llamada, mientras que un retardo mayor a 400ms es intolerable para el servicio de voz sobre IP. Lo anterior se resumen en la Tabla 1:

Retardo	Impacto
Por debajo de 150 ms	Aceptable para la mayoría de los usuarios y aplicaciones IP
150 – 400 ms	Aceptable para llamadas internacionales
Mayor a 400 ms	Inaceptable

Tabla 1: Efecto del retardo en la transmisión de voz IP.

El protocolo RTCP puede ser utilizado para calcular el round trip delay entre los paquetes que son intercambiados entre elementos de dos redes.

Pérdida de Paquetes (Packet Loss)

Desde el punto de vista extremo a extremo, la pérdida de paquetes incluye a los paquetes de datos que viajan a través de la red y fallan para alcanzar su destino, así como los paquetes que son descartados en los buffers que tiene como propósito aminorar los efectos de la variabilidad del tiempo de arribo de los paquetes, denominado con el término anglosajón, jitter. La pérdida de paquetes introduce distorsión debido a que su pérdida genera saltos y recortes en la reconstrucción de la señal original. Típicamente, una tasa de pérdida de paquetes mayor al 5% es inaceptable para los usuarios de voz sobre IP. El uso de algoritmos de Ocultamiento de Pérdida de Paquetes (PLC), puede mejorar la experiencia final del usuario al ocultar la pérdida de los paquetes a través de métodos como sustitución de silencios con repetición de paquetes y con réplicas de aproximaciones a la forma de la señal original. Para medir la relación de paquetes perdidos puede ser utilizado el protocolo RTCP descrito en el RFC 3550 de la IETF [6].

Jitter

El jitter puede definirse como la variación en el tiempo de la llegada de los paquetes causada por congestión de red, pérdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar a su destino. Un valor de 30 ms o menor es tolerable. Sus efectos en el servicio de voz pueden verse reflejados en alteraciones en la reconstrucción de la voz debido al desorden de llegada de los paquetes, lo cual puede ser compensado con el manejo adecuado del buffer para aminorar el efecto reduciendo las diferencias de arribo de los paquetes, así como descartando los paquetes que exceden la diferencia máxima de jitter establecida de acuerdo a los parámetros de calidad de la red. Para la medición del jitter puede ser empleada la metodología indicada en el RFC 3550 de la IETF [6].

Ocupación de los enlaces

En el caso de la telefonía basada en TDM, las troncales de circuitos telefónicos eran fácilmente determinados a partir de la probabilidad de bloqueo con la que se buscaba prestar el servicio contra el número de circuitos con los que se podía disponer, lo cual era resuelto fácilmente a través de tablas de Erlangs y dado que las redes PDH y SDH fueron diseñadas con el fin de prestar el servicio de voz, la designación de canales se hacía fácilmente a partir de múltiplos de canales de voz, circuitos E1's y múltiplos de mayor capacidad.

Con la introducción de la tecnología VoIP, la flexibilidad de esta plataforma permite prestar y entregar el servicio de voz en distintas configuraciones por lo que el ancho de banda necesario para establecer una llamada de voz puede variar drásticamente de acuerdo al códec que se utilice para la codificación de la voz.

A través de la generación de reportes de ocupación de los enlaces a través de los cuales se indique el porcentaje de ancho de banda utilizado respecto a la capacidad total del enlace segmentado por día, en intervalos de una hora y de manera mensual, se puede obtener información estadística de relevancia para determinar la existencia de saturación en un enlace, o una tendencia de aumento en el tráfico demandado que sea un indicador para iniciar actividades con el fin de incrementar las capacidades del enlace y evitar tirar o desbordar llamadas.

4.3 Señalización

Uno de los principales elementos a considerar para interconectar redes de telecomunicaciones es la definición del protocolo que realizará las tareas de señalización entre las mismas. Si bien, internamente la señalización de los servicios que ofrece un proveedor puede ser manejada de acuerdo a las características propias de su red y como mejor convenga a sus intereses, el protocolo y la forma de emplearlo no siempre es coincidente entre los distintos proveedores de servicios debido a las diferentes arquitecturas y a la existencia de diversas tecnologías que dichos proveedores emplean aunque se trate de un mismo servicio.

En este sentido, para poder establecer una llamada telefónica entre usuarios de distintas redes, el manejo del protocolo de señalización que las partes decidan utilizar es fundamental para el correcto establecimiento y funcionamiento de la misma, ya que el protocolo de señalización será el encargado de marcar las reglas mediante las cuales ambas redes lograrán entenderse al definir los métodos para el establecimiento, actualización, control y terminación de las diferentes funciones del servicio de voz, por lo que la definición del protocolo a utilizar y su manejo cobra especial relevancia en la interconexión entre redes de telecomunicaciones.

Hablando específicamente sobre tecnología de voz sobre IP, los protocolos de señalización que actualmente predominan en el mercado son H.323 y SIP, siendo este último el del uso más extendido y popular globalmente debido a las características que se señalan a continuación.

El Protocolo de Inicio de Sesión o conocido como SIP por sus siglas en inglés (Session Initiation Protocol), fue desarrollado por la Engineering Task Force (IETF) [7] y es un protocolo para establecer, modificar y terminar sesiones multimedia que pueden incluir audio, video, mensajes, e información de forma general como el estatus de

disponibilidad de un usuario. SIP fue diseñado para trabajar en la arquitectura de Internet y con el resto de los protocolos que la conforman, como TCP, UDP, DNS, y el mismo IP, por lo que su flexibilidad, escalabilidad y aplicación coincide con la de estos protocolos y es aplicable al conjunto de servicios que se proveen a través de la red de redes.

Actualmente, el RFC 3261 es la recomendación vigente de la IETF que contiene las principales especificaciones del protocolo SIP, adicionalmente a manera de extensiones, existen múltiples RFC's que complementan y amplían diversas funcionalidades del protocolo, como los RFC's que definen el uso de métodos o encabezados específicos y para funciones de privacidad, seguridad, autenticación, temporizadores, manejo de prioridades, manejo de medio temprano, entre otros.

SIP trabaja en la capa de aplicación y es inherente al protocolo de transporte utilizado, por lo que puede ser implementado sobre UDP, TCP SCTP indistintamente, por lo cual la selección del protocolo de transporte a utilizar será de acuerdo a las características del servicio que se esté implementando.

Dado que SIP es un protocolo tipo cliente – servidor, su funcionalidad se basa en respuestas generadas en atención a peticiones realizadas por un cliente hacia un servidor, quien, de acuerdo a la petición recibida, procesa y atiende dicha petición enviando una respuesta al cliente y hacia otros clientes o servidores que a su vez atenderán dichas peticiones.

Dado que SIP es un protocolo basado en texto similar a HTTP y a SMTP, SIP utiliza mensajes para solicitudes y respuestas denominados "métodos", los cuales son interpretados por los clientes y servidores en el momento de establecer una sesión de voz con el fin de ejecutar la acción correspondiente. Para poder diferenciarlos de otros encabezados, en el empleo de los métodos se distingue el uso de mayúsculas y minúsculas, siendo que, por convención, los métodos se manejan con letras mayúsculas.

En la Tabla 2 se señalan los seis métodos contenidos originalmente en el RFC 3261 y los mínimos indispensables para establecer una sesión básica de voz, mientras que la Tabla 3 resume los principales códigos de respuesta SIP utilizados para proveer información, confirmar, redireccionar o señalar el código de error generado por un servidor SIP ante la solicitud de un cliente.

Método	Función
INVITE	Se utiliza para enviar una solicitud de inicio de sesión.
ACK	Mensaje de acuse de recibido a una solicitud INVITE.
BYE	Mensaje para terminar una sesión establecida.
CANCEL	Utilizado para cancelar un proceso de inicio de sesión en progreso.
REGISTER	Informa a un cliente o servidor sobre las direcciones IP o SIP URI's con la cuales se puede establecer sesiones.

OPTIONS	Utilizado para consultar información sobre capacidades del elemento con el que se desea establecer la sesión, en términos de métodos soportados, codecs, sin establecer la sesión.
---------	--

Tabla 2: Principales métodos SIP.

<p>Información</p> <p>100 Trying 180 Ringing 181 Call Forwarded 182 Queued 183 Session Progress</p>	<p>Confirmación</p> <p>200 OK</p>	<p>Redirección</p> <p>300 Multiple Choices 301 Moved Perm. 302 Moved Temp. 380 Alternative Serv.</p>
<p>Error de Petición</p> <p>400 Bad Request 401 Unauthorized 403 Forbidden 404 Not Found 405 Bad Method 415 Unsupp. Content 486 Busy Here</p>	<p>Error de Servidor</p> <p>500 Server Error 501 Not Implemented 503 Unavailable 504 Timeout</p>	<p>Error Global</p> <p>600 Busy Everywhere 603 Decline 604 Doesn't Exist 606 Not Acceptable</p>

Tabla 3: Principales códigos de respuesta SIP.

En este sentido, los métodos SIP y los códigos de respuesta SIP permiten establecer un sistema de señalización con el cual clientes y servidores pueden realizar peticiones y dar respuesta a los mismos a fin de poder establecer una sesión entre los extremos de manera exitosa. Ejemplo de lo anterior es el flujo de señalización que muestra en la Figura 5 en cual se establece una sesión entre dos redes para realizar una llamada convencional de voz, desde el envío de un mensaje INVITE inicial, pasando por el timbrado y la apertura del canal de audio a través del Protocolo de Transporte de Tiempo Real (RTP) y concluyendo con la liberación del canal de audio y cierre de la sesión a través del método BYE y el mensaje de confirmación 200 OK.

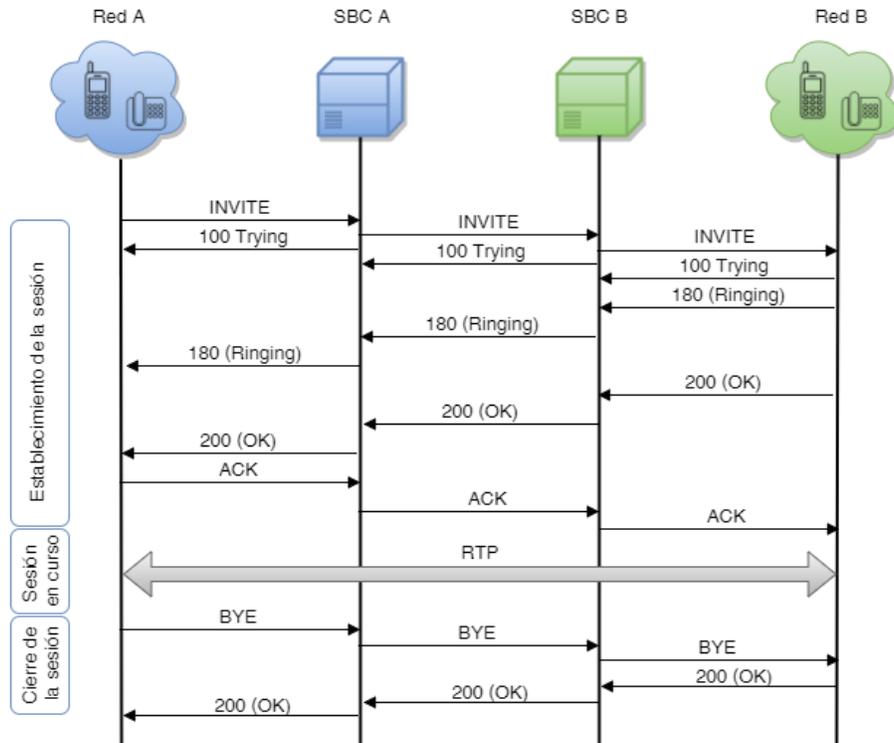


Figura 5: Flujo de una llamada básica de voz.

Asimismo, cada mensaje de señalización, además de la instrucción o petición que transmite, contiene información de los usuarios que establecen la sesión y la información de negociación entre las redes, como el protocolo de transporte que se utilizará, el códec de voz a emplear, tiempo de vida de la sesión, número máximo de saltos de la señalización a través de la red, elementos que son negociados entre las redes a través del Protocolo de Descripción de Sesión (SDP), como se muestra en el contenido del mensaje INVITE a continuación:

```
INVITE sip:Gabriel@unam.mx SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP lab.high-voltage.org:5060;branch=z9hG4bKfw19b
Max-Forwards: 70
To: Gabriel Huichan <sip:gabriel.huichan@unam.mx>
From: Nikola Tesla <sip:nikola.tesla@high-voltage.org>;tag=76341
Call-ID: j2qu348ek2328ws
CSeq: 1 INVITE
Contact: <sip:nikola.tesla@lab.high-voltage.org>
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 158
v=0
o=Tesla 2890844526 2890844526 IN IP4 lab.high-voltage.org
s=Phone Call
c=IN IP4 100.101.102.103
t=0 0
m=audio 49170 RTP/AVP
```

En este sentido, la medición de los mensajes de señalización a través de los cuales se establecen las sesiones de voz, y su relación con las respuestas que los elementos de frontera de cada una de las redes generan para dichos mensajes, son indicadores confiables de la eficiencia de la interoperabilidad de las redes interconectadas.

Parámetros de calidad de servicio a nivel de Señalización

Dado que el protocolo SIP permite el establecimiento de sesiones de comunicación a través de mensajes que las dos redes deben procesar, entender y responder, es posible que a partir de la medida de los mensajes que corresponden a sesiones establecidas de manera exitosa o la medida de los mensajes que corresponden a notificaciones de error al momento del establecimiento de una sesión, pueda ser determinado un mecanismo de referencia para medir la calidad de servicio a nivel de interacción entre redes de telecomunicaciones.

Al respecto, las recomendaciones ITU-T E.411 [8] e ITU-T E.437 [9], que datan del año 1999 definen diversos parámetros de medición aplicables para la PSTN y tecnología TDM que pueden ser reinterpretadas para su empleo en las nuevas plataformas de telecomunicaciones basadas en tecnología IP. Entre dichos parámetros, son útiles y destacan los siguientes:

ALOC, Duración promedio de la Conversación (Average Length of Conversation).

Como su nombre lo indica, este parámetro expresa la duración promedio en segundos de una llamada establecida exitosamente en un periodo de tiempo dado.

Trasladado a los términos del protocolo SIP, este parámetro es el periodo de tiempo transcurrido entre la respuesta SIP 200 OK generada en respuesta a un INVITE de inicio de sesión, al momento de la liberación de la sesión a través del mensaje SIP BYE.

El monitoreo del parámetro ALOC, si bien no indica fallas en primera instancia debido a que responde a sesiones establecidas de manera exitosa, con un muestreo representativo, es útil para el monitoreo de la calidad del servicio ya que una disminución drástica en la duración promedio de las llamadas es un indicador de problemas en la prestación del servicio que amerita un análisis más profundo para determinar el mismo.

ASR, Tasa de llamadas completadas (Answer Seizures Ratio)

Este parámetro expresa la relación entre el número de llamadas efectivamente establecidas entre el número total de intentos de llamada en un determinado periodo de tiempo.

En términos de señalización SIP, el ASR puede ser definido como la relación entre el número de respuestas 200 OK generadas en respuesta a un mensaje INVITE de inicio de sesión, entre el número total de mensajes INVITE enviados de inicio de sesión que recibe un servidor SIP.

NER, Tasa de eficiencia de red (Network Efficiency Ratio)

Éste parámetro expresa la capacidad de una red para entregar una llamada durante un periodo dado de tiempo eliminando factores relacionados al comportamiento de usuario. Está definido como la relación del número de respuestas recibidas y el número de mensajes INVITE de inicio de sesión enviados para cada una de las siguientes respuestas:

- Número de respuestas 200 OK a un INVITE inicial o
- Número de respuestas BYE o
- Número de respuestas con código 3XX
- Número de respuestas con código 4XX
- Número de respuestas con código 5XX
- Número de respuestas con código 6XX
- Número de mensajes CANCEL

PGRD, Retardo de Timbrado Post Gateway (Post Gateway Ringing Delay)

Expresa el tiempo transcurrido entre una petición para el establecimiento de la llamada y el tono de timbrado para esa llamada.

Dicho parámetro está definido como el tiempo transcurrido a partir del INVITE de inicio de sesión y el primer mensaje recibido correspondiente a las siguientes respuestas:

- 180 que indica que el dispositivo está timbrando.
- 183 con SDP, que señala que los medios están disponibles.

Con el fin de determinar la calidad del servicio de señalización se requiere que los concesionarios proporcionen reportes estadísticos mensuales que contengan información por día de los parámetros de calidad que se señalan a continuación.

4.4 Codificación de la voz

Las redes tradicionales de telefonía fija, soportan únicamente el uso del códec G.711. Para poder realizar el envío de voz a través de las nuevas redes de telecomunicaciones mediante el uso de protocolos como IP donde la información viaja en forma de paquetes, previamente debe realizarse la digitalización de la voz a través de diversos algoritmos que ejecutan un muestreo, cuantificación, codificación y conversión de las señales analógicas que nuestra voz genera.

Asimismo, en el contexto de la existencia y convivencia de diversas redes de telecomunicaciones que prestan el servicio de telefonía pero que son de diferente naturaleza, debe buscarse la correcta interoperabilidad entre las mismas y ofrecer la mejor calidad del servicio de voz de acuerdo a sus propias características y capacidades, por lo que la definición de los codecs que se emplearán al momento de interconectar estas redes juega un papel relevante que debe ser analizado detenidamente.

En este sentido, las características de rendimiento y operación de un códec deben ser evaluados, siendo que unas de las principales limitantes que hoy en día enfrentan las redes de telecomunicaciones, además de la capacidad de procesamiento de los equipos, es el ancho de banda con el que cuenta cualquier proveedor de servicios en los diferentes niveles que componen una red de telecomunicaciones. Al ser el ancho de banda un recurso limitado para los operadores de tecnologías móviles que tratan de maximizar sus operaciones en el segmento de espectro radioeléctrico con el que cuentan asignado para su red de acceso, y para operadores fijos y móviles que deben administrar correctamente la convergencia del tráfico de todos sus servicios al momento en que este accede a la red de transporte, el consumo de ancho de banda es el principal factor para considerar en la determinación del uso de un códec u otro en una red de telecomunicaciones.

Respecto a codecs de tecnologías de voz sobre IP, se resumen las principales características de los más utilizados en la industria de telecomunicaciones en la Tabla 4:

Codec	Bitrate (kb/s)	Frame (ms)	Bits per frame	Algorithmic delay ^a (ms)	Codec delay ^b (ms)	Compression type	Complexity (MIPS) ^c	MOS
<i>Narrowband codecs</i>								
G.711	64	0.125	8	0.125	0.25	PCM	≪1	4.1 ^d
G.723.1	6.3	30	189	37.5	67.5	MP-MLQ	≪18	3.8
G.723.1	5.3	30	159	37.5	67.5	ACELP	≪18	3.6
G.726	16	0.125	2	0.125	0.25	ADPCM	≈1	–
G.726	24	0.125	3	0.125	0.25	ADPCM	≈1	3.5
G.726	32	0.125	4	0.125	0.25	ADPCM	≈1	4.1
G.728	16	0.625	10	0.625	1.25	LD-CELP	≈30	3.61
G.729	8	10	80	15	25	CS-ACELP	≪20	3.92
G.729A	8	10	80	15	25	CS-ACELP	≪11	3.7
G.729D	6.4	10	64	15	25	CS-ACELP	<20	3.8
G.729E	11.8	10	118	15	25	CS-ACELP LPC	<30	4
GSM-FR	13	20	260	20	40	RPE-LTP	≈4.5	3.6
GSM-HR	5.6	20	112	24.4	44.4	VSELP	≈30	3.5
GSM-EFR	12.2	20	244	20	40	ACELP	≈20	4.1
AMR-NB	4.75–12.2	20	95–244	25	45	ACELP	15–20	3.5–4.1
iLBC	13.33	30	400	40	60	LPC	18	3.8
iLBC	15.2	20	304	25	40	LPC	15	3.9
Speex (NB)	2.15–24.6	20	43–492	30	50	CELP	8–25	2.8–4.2
BV16	16	5	80	5	10	TSNFC	12	4
<i>Broadband codecs</i>								
G.722	48, 56, 64	0.0625	3–4	1.5	1.5625	SB-ADPCM	5	~4.1
G.722.1	24,32	20	480, 640	40	60	MLT	<15	~4
AMR-WB (G.722.2)	6.6–23.85	20	132–477	25	45	ACELP	≈38	Various
Speex (WB)	4–44.2	20	80–884	34	50	CELP	8–25	Various
iSAC	Variable	Adaptive	Adaptive-variable	Frame + 3 ms	Adaptive	Transform coding	6–10	Various ^e
BV32	10–32	30–60 ms			63–123			
	32	5	160	5	10	TSNFC	17.5	~4.1

Tabla 4: Principales codecs de voz utilizados en la industria y sus características. [10]

En el escenario de un desacuerdo entre proveedores del servicio de telefonía respecto a la definición del uso de los codecs de voz que se utilizarán al momento de la interconexión de sus respectivas redes de telecomunicaciones, el desacuerdo puede derivar en problemas operativos o en la degradación de la calidad de los servicios que percibe un usuario final. Entre las principales consecuencias de un desacuerdo de este tipo pueden enumerar los siguientes:

- Necesidad de cambio o actualización de los equipos de telecomunicaciones.
- Necesidad de adquirir licencias adicionales.
- Procesamientos adicionales que incrementan la latencia de la transmisión.
- Transcodificaciones adicionales que degradan de la calidad del servicio de voz.
- Imposibilidad para establecer el intercambio de tráfico de voz.

Al respecto, las medidas regulatorias vigentes sobre el uso de codecs deben establecer como mínimo el listado que los proveedores de servicios deberán manejar. Los codecs incluidos deben cumplir con las características y parámetros necesarios para realizar una eficiente interconexión entre las diferentes redes de telecomunicaciones, asegurando que la de calidad del servicio de voz que experimentan los usuarios finales, cumpla con lo establecido en diferentes recomendaciones internacionales emitidas por organismos como la UIT.

A través de un mecanismo de oferta/contestación, las redes pueden acordar que códec utilizarán mediante el uso del protocolo SDP, es así que el elemento frontera que entrega el tráfico de voz de la red origen puede proponer la preferencia en el uso de los codecs para el establecimiento de la sesión, mientras que la red destino determinará el códec que se utilizará. Los principales codecs utilizados actualmente para el servicio de telefonía son:

- G.729 Payload Type: 18
- G.729b Payload Type: 18
- G.711 Ley A Payload Type: 8
- AMR-NB Payload Type: 96-127

El campo "Payload" corresponde a la identificación del tipo de información que se está codificando, en este caso, los valores hacen referencia para indicar que la información que viaja en el paquete corresponde a audio.

Actualmente, el uso de estos codecs es ampliamente extendido en la industria de las telecomunicaciones y los principales fabricantes de hardware y software de telecomunicaciones cuentan entre sus catálogos con múltiples equipos capaces de procesar, priorizar y realizar transcodificación entre los mismos, por lo que esta determinación no tiene un impacto que implique una afectación significativa en la operación de los prestadores de telefonía fija o móvil que busquen establecer interconexión mediante el protocolo IP.

Una de las maneras de medir la calidad del audio provista por los distintos codecs de voz existentes, es el MOS. Este es un sistema de medida para la calidad de voz, se trata de un conjunto de técnicas subjetivas de la medida de la calidad de voz que recibe el nombre de test ACR (Absolute Category Rating), donde la calidad es evaluada directamente y tienen el mismo esquema general; se reúne a una muestra de usuarios a los que se les pide que opinen sobre la calidad que en algún aspecto concreto ofrece un determinado sistema de transmisión de la voz. El resultado obtenido se califica con valores entre 1 y 5, siendo 5 "excelente" y 1 "malo". Dado que esta es una metodología subjetiva que depende en gran medida del criterio personal del evaluador y el evaluado, no forma parte de los parámetros de interés de esta metodología.

4.5 Session Border Controller

En el grupo de elementos y equipos que conforman parte de la red core de un proveedor de servicios, los denominados Session Border Controllers (SBC, por sus siglas en inglés) cumplen con la tarea de aislar el dominio de red y los elementos core de dichas redes, siendo el elemento frontera que inicialmente procesará y determinará la acción a realizar para las peticiones que recibe provenientes de otra red.

Dado que las arquitecturas de los proveedores de servicios pueden diferir sustancialmente, generando que para un mismo servicio existan distintas soluciones técnicas viables, los elementos frontera de cada una de las redes deben asegurar la correcta interoperabilidad de la señalización que envían y reciben, así como las reglas bajo las cuales intercambiarán el medio que transporta la comunicación de un extremo a otro y las reglas de seguridad que delimiten y protejan el dominio interno de cada una de las redes.

Entre las principales tareas que ejecuta un SBC se encuentran,

- Seguridad en la frontera, control de acceso y ocultamiento de la topología de la red.
- Interoperabilidad entre protocolos, transcodificación, NAT transversal.
- Gestión del tráfico, monitoreo del medio, QoS (Quality of Service).

En la práctica, un SBC usualmente se ubica físicamente entre dos proveedores de servicios, entre la backbone

Como se muestra en la Figura 6, un SBC puede ser entendido en los siguientes tres bloques funcionales principales:

Session Border Element (SBE): cumple con la tarea de manejar todos los mensajes de señalización requeridos para establecer, modificar o terminar una sesión. También puede controlar el DBE para que ejecute tareas de transcodificación de medio o traducción entre direccionamiento IPv4, IPv6.

Data Border Element (DBE): es responsable de manejar el intercambio de información una vez que la señalización de establecimiento se ha completado. En general, realiza tareas de inspección y modificación de los paquetes, tareas de transmisión y de firewall.

Lookup Function: Lleva a cabo operaciones de búsqueda para realizar la retransmisión de la señalización cuando una solicitud debe ser transferida.

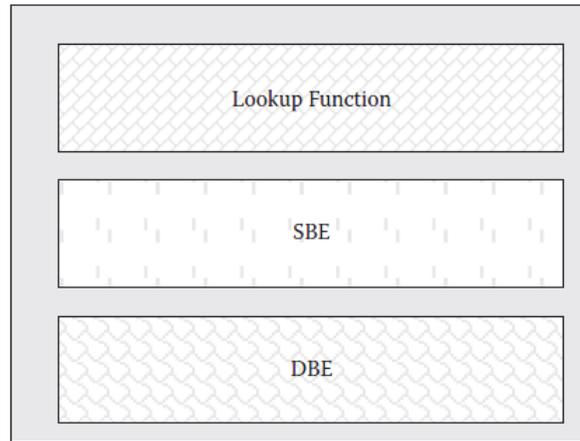


Figura 6: Arquitectura de un SBC. [2]

De manera general, las características del equipo SBC que son relevantes en para determinar su viabilidad dentro de un esquema grandes volúmenes de intercambio de tráfico son:

- Capacidad máxima de sesiones simultáneas establecidas.
- Capacidad máxima de procesamiento de mensajes de señalización.
- Ancho de Banda máximo soportado por las interfaces, puertos y enlaces.
- Codecs soportados.

A manera de ejemplo, en la Tabla 5 se enlistas diversos equipos SBC tipo carrier class de algunos de los fabricantes de equipos disponibles en el mercado en los cuales se indica sus capacidades de procesamiento y el listado de códecs que son capaces de soportar.

Marca / Modelo	Capacidad (Sesiones simultáneas)	Codecs tecnología fija	Codecs tecnología móvil
Oracle - ACME 4500	Señalización: 40,000 Medio: 16,000	G.711 A/μ, G.722, G.723.1, G.726, G.729 A/B, iLBC	AMR-NB, AMR-WB, GSM-FR
AudioCodes - Mediant 9000	Señalización: 32,000 Medio: 24,000	G.711 A/μ, G.723.1, G.726, G.729 A/B	AMR-NB, AMR-WB, GSM-FR, SILK-NB/WB
Cisco - ASR 1000	Sesiones simultáneas: 200000	G.711 A/μ, G.729 A/B, G.726, G.728, G.722 iLBC, G.723	AMR-NB
Dialogic - BorderNet 4000	Sesiones simultáneas: 32000	G.711 A/μ, G.722, G.723.1, G.726, G.729 A/B, iLBC	AMR-NB, AMR-WB, GSM-FR, GSM-EFR
Huawei - SE2900	Sesiones simultáneas: 60000	G.711 A/μ, G.722, G.723, G.729 A/B	AMR-NB, AMR-WB

Tabla 5: Algunos de los SBC disponibles en el mercado.

* Información obtenida de las hojas de especificaciones técnicas de cada equipo, disponibles en las páginas web de los fabricantes

5. Propuesta de metodología para la evaluación de la calidad del servicio de voz entre redes de nueva generación.

La siguiente propuesta de metodología tiene como objetivo establecer los puntos que deben ser evaluados para determinar si los elementos que participan en el intercambio de tráfico de voz y señalización entre redes NGN cumplen con las características técnicas y parámetros de calidad necesarias para que este servicio sea brindado eficientemente.

Los resultados de las mediciones y pruebas propuestas en esta metodología, deberán ser comparados con los parámetros de calidad determinados en la normatividad o legislación vigente o las que en su momento sean determinadas por la autoridad regulatoria.

5.1 Alcance, criterios y consideraciones

La siguiente metodología plantea realizar un análisis de los parámetros de calidad a nivel de transporte y señalización para el servicio de voz en los elementos correspondientes al segmento a través de los cuales dos distintas redes se interconectan. Para lo anterior se enlistan las distintas pruebas a ser ejecutadas y los parámetros que deben ser medidos.

Las mediciones propuestas son no intrusivas a las redes de los proveedores de servicios y las pruebas realizadas pueden ser ejecutadas a través de un usuario con permisos de lectura en el equipo frontera de cada una de las redes.

Dado que en el establecimiento de una llamada telefónica están involucrados diferentes elementos y niveles de una red de telecomunicaciones la metodología propuesta considera la realización de llamadas de la red "A" hacia la red "B" y adicionalmente, con el fin de delimitar el análisis a los elementos de red que participan directamente en la prestación del servicio de las redes interconectadas se utilizan las métricas y estadísticos correspondientes a los elementos a través de los cuales se interconectan dos redes, como lo muestra la Figura 7.

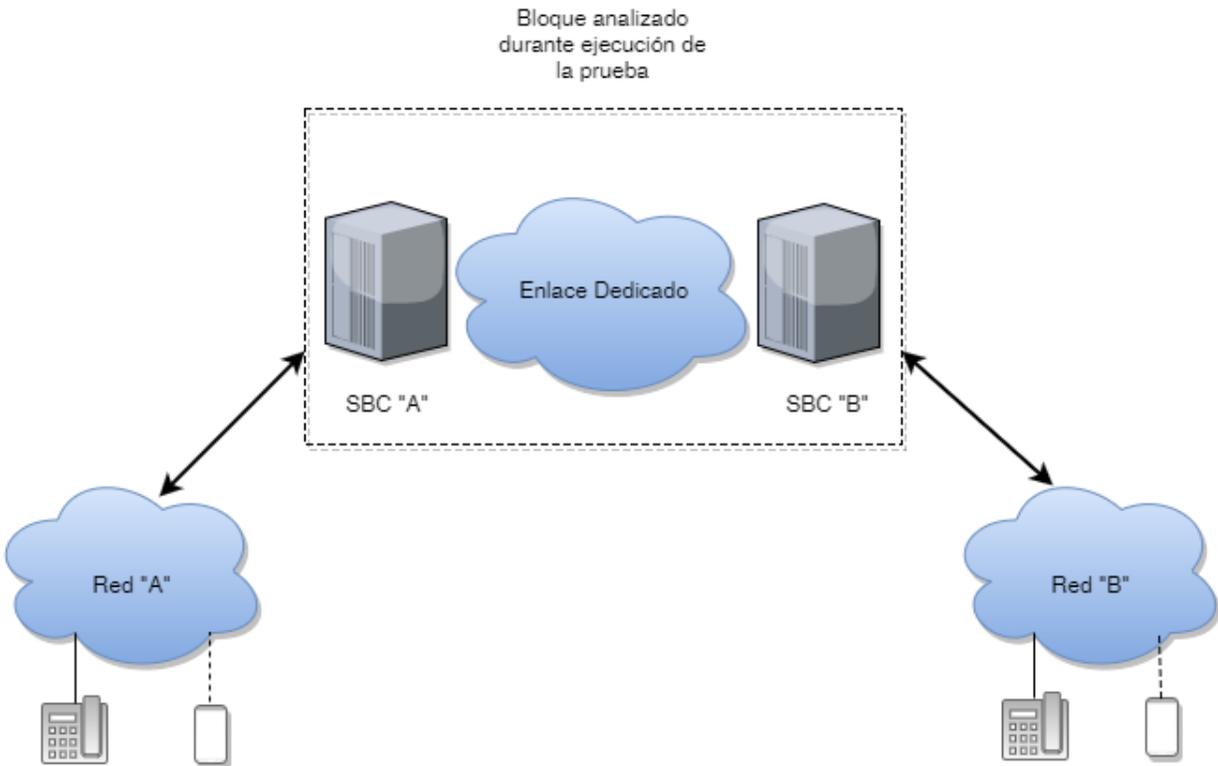


Figura 7: Segmento analizado

Se toman como referencia las definiciones establecidas en las siguientes recomendaciones de la UIT:

One Way Delay: Recomendaciones ITU G.1020 [11] e ITU G.114 [5]

Jitter: Recomendaciones ITU Y.1541 [12] e ITU G.1020 [11]

Packet Loss: Recomendaciones ITU G.113 [13] e ITU G.1020 [11]

Delay: Recomendaciones ITU G.114 [5], ITU G.1010 [14] e ITU G.1020 [11]

5.2 Metodología

Previo a la determinación de la fecha de las pruebas y al desarrollo de las mismas, con el fin de anticipar personal y configuraciones de equipos sea anticipada por ambas partes, es necesario que la información referente a los puntos 1 a 5 sea proporcionada y completada por los proveedores de los servicios a evaluar.

A. Información General

1. Datos de Contactos

Responsable por parte del proveedor de servicio A

Compañía _____

Nombre y cargo: _____

Celular: _____

Teléfono (ext.): _____

Correo electrónico: _____

Responsable por parte del proveedor de servicio B

Compañía _____

Nombre y cargo: _____

Celular: _____

Teléfono (ext.): _____

Correo electrónico: _____

2. Datos de la Orden de Trabajo

Servicios bajo prueba	Enlace de interconexión de servicio móvil-fijo, CDMX.
Orden de Trabajo / Folio	123456789-2016
Dirección punta A	
Dirección punta B	
Señalización	SIP RFC 3261
Puerto de Señalización	UDP 5060
Media	RTP RFC 3550
Puerto de media	UDP 10000 - 65535
Negociación de media	SDP RFC4566

Codecs de voz	G.711, G.729, G.729b, AMR-NB
Fax	
DTMF	RFC 2833
SIP Early media	
Privacidad	
SIP OPTIONS	
Rango(s) de DID's de prueba asignados	
Número DID de cabecera	
Llamadas simultaneas iniciales	

Tabla 6: Datos de la orden de trabajo.

3. Datos de los equipos

Proveedor de Servicios A

Tipo de Servidor	Session Border Controller
Marca	
Modelo	
Versión de Software	
Número de sesiones máximas	
Número de puertos, tipo de interface y capacidades.	

Tabla 7: Datos generales de los equipos de frontera A

Proveedor de Servicios B

Tipo de Servidor	Session Border Controller
Marca	
Modelo	
Versión de Software	
Número de sesiones máximas	
Número de puertos, tipo de interface y capacidades.	

Tabla 8: Datos generales de los equipos de frontera B

4. Direccionamiento IP para el intercambio de media y señalización

	Proveedor de Servicios A	Proveedor de Servicios B
Endpoint IP Address de Señalización	Primario:	Primario:
	Secundario:	Secundario:
Endpoint IP Address de Media	Primario:	Primario:
	Secundario:	Secundario:

Tabla 9: Direccionamiento de los servicios

5. Diagrama de la Solución

(Ejemplo general de la arquitectura de la interconexión)

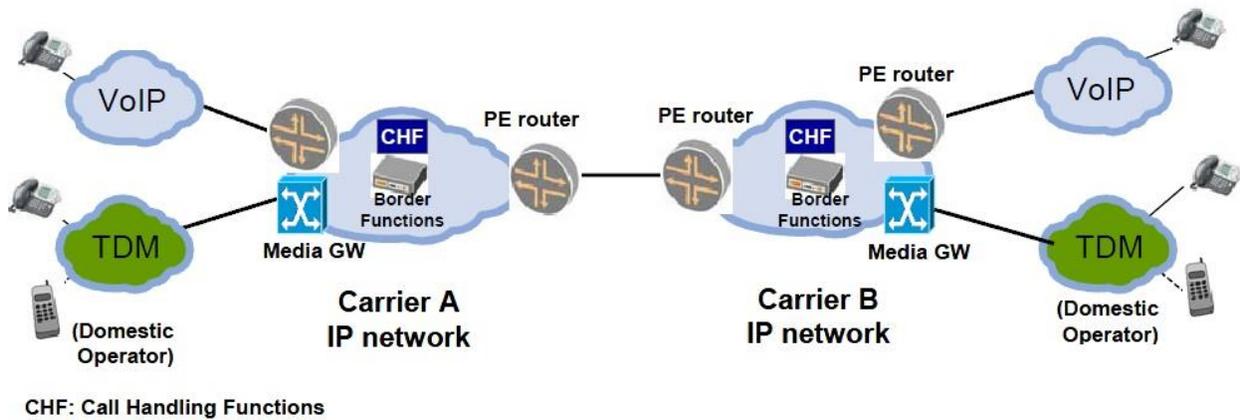


Figura 8: Ejemplo de arquitectura general de interconexión. [15]

B. Secuencia de pruebas del medio

1. Protocolo de pruebas del medio y equipo de acceso

La siguiente pila de pruebas y matrices de control corresponden a la validación del medio físico y disponibilidad de los equipos frontera que interconectan las redes.

Ejecutar las pruebas de conectividad de la Tabla 10, las mismas deberán ser realizadas de SBC a SBC de acuerdo al direccionamiento y a la información general proporcionada en el anterior apartado A.

Escenario de conexión	¿Correcto?	
	SÍ	NO
CONECTIVIDAD		
Validar con un ping desde el SBC A verificando que se alcanza SBC B		
Validar con Traceroute desde el SBC A verificando hasta que elemento de red SBC B		
Validar con un ping desde el SBC B verificando que se alcanza SBC A		
Validar con Traceroute desde el SBC B verificando hasta que elemento de red SBC A		

Tabla 10: Pruebas de conectividad

Realizar las mediciones señaladas en la Tabla 11 sobre el enlace dedicado que permite la conectividad entre los elementos de frontera de ambas redes:

Parámetro	Prueba Satisfactorio (sí o no)	Valor obtenido	Comentarios
Ancho de banda del enlace			
Porcentaje de ocupación			
Ping extremo a extremo			
Round Trip Delay			
Packet Loss			
Jitter			
Bit error rate			

Tabla 11: Pruebas del medio

*La medición del BER (Bit Error Rate) deberá realizar de acuerdo a lo determinado en el RFC 2544

C. Secuencia de pruebas de llamadas

1. Medición de llamadas no exitosas

Un parámetro relevante para evaluar la calidad de los servicios de interconexión es el porcentaje de llamadas que son establecidas exitosamente entre concesionarios.

Con el fin de validar que el 99.5% de las llamadas realizadas se establezcan exitosamente durante las 5 horas de mayor tráfico se propone el siguiente procedimiento.

Procedimiento de la prueba

Para efectos del desarrollo de la metodología se considera que los elementos de red que permiten la prestación de los servicios de interconexión deberán estar dimensionados para un porcentaje de error en el establecimiento de las sesiones de voz igual o menor al 0.5% en las 5 horas de mayor tráfico por mes. Estos parámetros podrán variar dependiendo del parámetro de calidad contra el cual se requieran referencias las pruebas.

Los principios para la validación de la calidad del servicio de interconexión deben permitir determinar la calidad de dicho servicio en las horas de operación cuando el volumen de tráfico sea más alto.

- a) La validación de la calidad en la prestación de los servicios de interconexión se realizará por punto de interconexión IP donde exista una interconexión directa entre dos redes.
- b) La muestra estadística consistirá en llamadas originadas por usuarios de prueba de la red del concesionario "A" con destino a usuarios de la red del concesionario "B". La muestra estadística deberá tomarse en ambos sentidos.
- c) La muestra estadística deberá tomarse en las horas de mayor tráfico BHT (hora pico). Para determinar la calidad del servicio de interconexión es necesario considerar los escenarios en los que se demanda mayor capacidad.
- d) La unidad de muestreo es la llamada que origina el concesionario "A" para terminar en el concesionario "B". El escenario de llamada deberá establecerse de forma que la llamada recorra el menor trayecto dentro de las redes de los concesionarios, esto con el fin de asegurar que la prueba que se ejecuta evalúe un punto de interconexión en específico y se reduzca el número de elementos a través de los cuales se conduce la llamada.

Dado que el valor de referencia para el establecimiento de la metodología se encuentra definido para observar el porcentaje de bloqueo de llamadas en horas pico, se establece como objetivo de las pruebas la evaluación durante las horas de mayor intercambio de tráfico en el punto de interconexión. Buscar realizar el análisis durante horarios de menor intercambio de tráfico apuntaría a observar fallas de carácter aleatorio, como fallas de equipamiento o energía eléctrica, por lo que el periodo de análisis tendría que extenderse considerablemente.

El procedimiento tomará los siguientes parámetros:

- Ubicación. Dependerá de la distribución de tráfico por punto de interconexión.
- Tiempo. Hora pico del día.
- Período de análisis. El período de análisis será de 1 semana por proveedor de servicio.
- Unidad de muestreo. Llamadas.

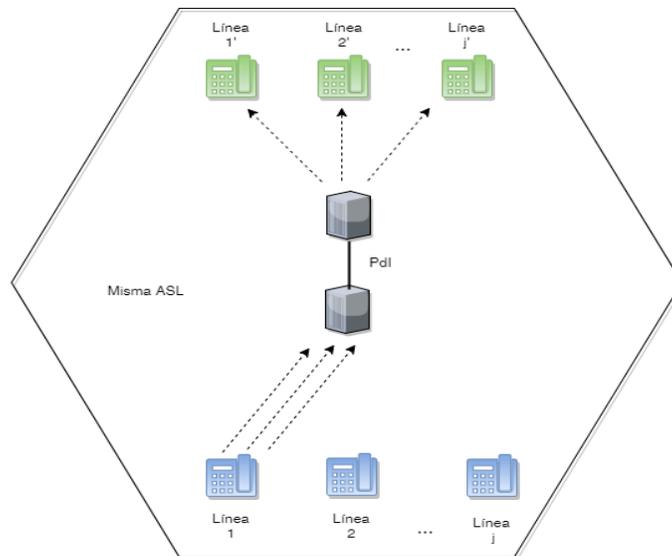


Figura 9: Flujo de llamadas de la prueba.

Las llamadas se distribuirán proporcionalmente en una semana laboral promedio. Se tomará una (1) hora pico por día, dentro de la cual se realizarán las llamadas.

Las líneas de la red "A" y "B" estarán dedicadas exclusivamente para fines de la prueba.

Se considera una llamada exitosa cuando el agente o conmutador que genera la llamada en la red "A" tenga registro de la apertura del canal de audio con la línea de la red "B".

Lo anterior puede ser confirmado por el agente que genera la llamada en el momento que escucha un audio de respuesta automatizada pre configurado en una contestadora instalada en la línea telefónica de la red "B".

Se considerará que una llamada no fue exitosa cuando se reciba lo siguiente:

- Tono de ocupado (congestión)
- Mensajes de error de la red "A"
- Mensajes de error de la red "B"
- Vacío de audio

Adicionalmente, para cada llamada ejecutada se tomará el trazado de la señalización SIP intercambiada entre las redes, procedimiento que se describirá en el punto 2 del presente apartado B.

Determinación del tamaño de la muestra

Para evaluar el servicio de interconexión, es necesario recabar una muestra aleatoria de llamadas que nos permita demostrar que el concesionario evaluado tiene una interconexión eficiente con el otro concesionario. Para determinar el tamaño de muestra necesario, debe considerarse el volumen de llamadas entre un concesionario de telefonía "A" hacia otro concesionario de telefonía "B". La fórmula para calcular este tamaño de muestra es la siguiente:

$$n = \frac{N Z_{\alpha}^2 p (1 - p)}{d^2 (N - 1) + Z^2 p (1 - p)} \quad (1)$$

Donde:

N= Número de llamadas originadas por el concesionario "A" y entregadas en el punto de interconexión evaluado del concesionario "B"

n= Número de llamadas muestreadas.

Z_{α} = Valor de tablas de la distribución normal estándar para α , donde α es nivel de significancia.

p= Proporción aproximada de llamadas fallidas.

d= Precisión absoluta. Este valor es referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado del estimador de la proporción de llamadas fallidas.

Sin embargo, si el número de llamadas cursadas por un punto de interconexión específico es razonablemente grande, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 p (1 - p)}{d^2} \quad (2)$$

Para cualquier volumen de llamadas cursadas por el punto de interconexión analizado, la ecuación (2) siempre arroja un tamaño de muestra mayor que la ecuación (1), por lo que garantiza que se levante un tamaño de muestra suficiente para posteriormente hacer inferencias sobre el porcentaje de llamadas fallidas estimado. Sin embargo, para volúmenes de llamadas relativamente pequeñas, se obtiene tamaños de muestra en la ecuación (2) muy por encima de las necesarias para realizar el análisis del parámetro estimado, resultando en sobrecostos de muestreo significativos.

Sin embargo, toda vez que se analizarán puntos de interconexión con un volumen razonablemente grande de tráfico, para fines de simplicidad se utilizará en la metodología la ecuación (2).

Estimación del porcentaje de llamadas fallidas

En un inicio, se desconoce una estimación del porcentaje de llamadas fallidas por un punto de interconexión dado. Un primer enfoque sería obtener una estimación preliminar que permita, en un segundo paso, optimizar el tamaño de muestra necesario para evaluar la calidad del servicio de interconexión.

Para un primer acercamiento y calcular una primera muestra con la que se obtendrá la estimación preliminar de la proporción de llamadas fallidas se utilizará $p = 0.5$. Se establecerá, además, una precisión de 5 puntos porcentuales. Con un 95% de confianza, obtendremos que la proporción de llamadas fallidas será menor o igual al parámetro estimado más la precisión absoluta establecida. Sustituyendo los valores antes mencionados en (2) se calcula que:

$$n_1 = \frac{1.645^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.05^2} = 270.60 \approx 271$$

Es así que la primera muestra será de 271 llamadas.

De la muestra obtenida, se calculará la proporción de llamadas fallidas con la siguiente ecuación:

$$\hat{p}_1 = \frac{\text{número de llamadas fallidas}}{\text{número total de llamadas de la muestra}}$$

De esta estimación, se puede calcular al 95% el límite superior de la proporción de llamadas fallidas de la siguiente forma:

$$\hat{p}_{1\ sup} = \hat{p}_1 + Z_{0.05} \sqrt{\frac{\hat{p}_1(1 - \hat{p}_1)}{n_1}}$$

Finalmente, se realiza el cálculo del tamaño de muestra necesario para evaluar el servicio de interconexión entre el concesionario "A" y el concesionario "B". Se utilizará la siguiente fórmula:

$$n_2 = \frac{Z_{\alpha}^2 \hat{p}_{1\ sup} (1 - \hat{p}_{1\ sup})}{d_2^2}$$

La precisión absoluta (d_2) se determinará de acuerdo a cuánto error se esté dispuesto a incurrir en el estimador del porcentaje de llamadas fallidas, considerando un número de muestras asequible en términos económicos y técnicos.

Finalmente, se obtiene la estimación de llamadas fallidas de igual manera que en la primera muestra:

$$\hat{p}_2 = \frac{\text{número de llamadas fallidas}}{\text{número total de llamadas de la muestra}}$$

Este estimador será el que se ponga a prueba para evaluar si se está cumpliendo o no con la calidad en el servicio de interconexión.

Evaluación de la calidad del servicio

Se establecerá como porcentaje máximo de llamadas fallidas entre los concesionarios "A" y "B" el 0.5%.

Si la proporción estimada es menor al máximo determinado, el concesionario cumple con la calidad en el servicio de interconexión. Sin embargo, para determinar si la interconexión entre el concesionario "A" y el concesionario "B" cumple con el máximo de llamadas fallidas cuando la proporción estimada es mayor a la máxima determinada, es necesario hacer una prueba de hipótesis del parámetro en cuestión.

Esta prueba se plantea de la siguiente forma:

Hipótesis nula (H_0): $p_0 = 0.005$

Hipótesis alternativa (H_a): $p_0 > 0.005$

Estadístico de prueba:

$$Z = \frac{\hat{p} - p_0}{\sigma_p}$$

Donde:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}$$

Región de rechazo:

$$Z > Z_{\alpha}$$

Donde:
 $\alpha = 0.05$

Si la Z calculada en el estadístico de prueba es mayor a la Z de tablas de una función de distribución normal estándar al 5% de significancia, se rechaza la hipótesis nula. Con esto, se puede afirmar al 95% de confianza que la proporción de llamadas fallidas es mayor a la máxima permitida, por lo que el concesionario "A" estaría incumpliendo con la calidad esperada del servicio de interconexión.

Resulta importante señalar que esto nos permite no caer en un Error Tipo I al 95% de confianza, esto es, nos da las herramientas para aseverar al 95% de confianza que el concesionario está incumpliendo con el porcentaje máximo de llamadas fallidas, dado que efectivamente está incumpliendo.

Sin embargo, habría que tomar en consideración que podemos incurrir también en el Error Tipo II, que nos llevaría a afirmar que el concesionario no está incumpliendo con los parámetros de calidad del servicio de interconexión, dado que si los está incumpliendo. Este error se presenta cuando el parámetro estimado se encuentra relativamente cerca al parámetro de calidad del servicio. La única forma de minimizar este error es obtener una muestra lo suficientemente grande que nos permita hacer lo más pequeño posible, dentro de las posibilidades técnicas y económicas de la prueba, el error estándar del estimador.

Ejemplo:

Supongamos que se quiere evaluar la interconexión entre dos proveedores de servicios en el punto de interconexión de la Ciudad de México. Se obtiene de información de los concesionarios y se determina que la hora de mayor tráfico del día es las 2 de la tarde de lunes a viernes.

Se determinó que el tamaño de muestra es de 271 llamadas, las cuales se dividirán en los 5 días de la semana laboral, resultando en 39 llamadas por día (se redondea hacia arriba el número para que la muestra se distribuya exactamente en partes iguales). Se solicitarán 3 líneas telefónicas de prueba de "A" y 3 líneas telefónicas de prueba a "B", por lo que cada línea telefónica realizaría 13 llamadas al día.

Se realiza una estimación preliminar del bloqueo de llamadas en el punto de interconexión y se calcula en un valor de 2%. Calculando el bloqueo máximo al 95% de confianza resulta en:

$$\hat{p}_{1\ sup} = 0.02 + 1.645 \sqrt{\frac{0.02(1 - 0.02)}{271}}$$

$$\hat{p}_{1\ sup} = 0.033989$$

Con este valor, se estima el tamaño de muestra necesario para realizar la prueba final. Se determina que se quiere incurrir en máximo medio punto porcentual de error en la estimación.

$$n_2 = \frac{1.645^2 (0.033989) (1 - 0.033989)}{0.01^2}$$

$$n_2 = 888.32 \approx 889$$

Se realiza una segunda muestra y se obtiene que de las 889 llamadas, 8 se caen. Esto es:

$$\hat{p}_1 = \frac{8}{889} = 0.00899888$$

El valor está por encima del establecido en la prueba, que es el 0.5%. Para evaluar si realmente está incumpliendo con el parámetro de calidad, se realiza una prueba de hipótesis de que el valor está realmente por encima del valor máximo de llamadas fallidas:

Hipótesis nula (H_0): $p_0 = 0.005$

Hipótesis alternativa (H_a): $p_0 > 0.005$

Estadístico de prueba:

$$Z = \frac{\hat{p} - p_0}{\sigma_p} = \frac{(0.00899888 - 0.005)}{\frac{0.005(1 - 0.005)}{889}}$$

Donde:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}$$

Región de rechazo:

$$Z > 1.645$$

Donde:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba
estimado

$$Z = \frac{(0.00899888 - 0.005)}{\sqrt{\frac{0.005(1 - 0.005)}{2161}}} = 1.6904105$$

Resultados

Toda vez que el valor calculado de Z es mayor que el valor de tablas al 95% de confianza, se rechaza la hipótesis nula. Esto quiere decir que, al 95% de confianza, el porcentaje de llamadas fallidas de la red "A" a la red "B" en el punto de interconexión de la Ciudad de México está por encima del 0.5% del total.

2. Pruebas de Trazados de llamadas y pruebas de voz

A través de la gestión de lectura en los SBCs de frontera de ambas redes se realizarán las siguientes pruebas con el fin de obtener trazados de llamadas (ejemplo en el ANEXO II), con el fin de validar la correcta prestación de los diferentes escenarios de llamadas.

Se deberán acotar los escenarios de pruebas de acuerdo a la Tabla 12, para lo cual se realizarán trazados de llamadas para los escenarios de intercambio de tráfico seleccionados dividido proporcionalmente entre el número obtenido en el cálculo del tamaño de la muestra. La información requerida en la tabla contenida en el ANEXO I deberá ser capturada de acuerdo a los servicios que deseen evaluarse:

Escenarios a evaluar		
	Sí	No
Llamadas salientes locales		
Llamadas salientes a celular local		
Llamadas salientes a celular nacional		
Llamadas salientes a larga distancia nacional		
Llamadas a larga distancia internacional		
Número 800 contratado		
Número 900 contratado		
Servicios especiales OXX		
Llamadas entrantes		
Solicitud de paso de Llamadas de FAX		
El cliente enviara privacidad en las llamadas		

Tabla 12: Escenarios de llamadas a verificar.

Para cada uno de los escenarios de llamadas realizadas, deberán obtenerse los trazados de señalización obtenidos de los SBC's de frontera así como los valores de la Tabla 13 deberán obtenerse los directamente de los registros de Logs de cada SBC en el periodo de prueba establecido para la ejecución de la prueba :

Parámetro de calidad de servicio	Valor obtenido (%)
ALOC total:	
ASR total:	
NER total:	
PGRD total:	

Tabla 13: Parámetros de calidad.

A través de los trazados de llamadas, el personal que ejecute las pruebas validará el correcto intercambio de dígitos entre las redes y la secuencia de señalización, con el fin de observar que ambas temáticas sean acordes a la normatividad y regulación que en su momento se encuentre vigente. Las observaciones serán detalladas en la Tabla 14.

Evaluación	Sí	No	Comentarios
Las llamadas se liberen adecuadamente			
El envío del número de A y B en llamada saliente es correcto			
El envío del número de A y B en llamada entrantes es correcto			
La secuencia de mensajes de señalización en las llamadas es correcta			

Tabla 14: Evaluaciones cualitativas.

3. Pruebas de Facturación

Cada una de las partes proporcionará los CDRs correspondientes a las llamadas realizadas durante las pruebas, los cuales deberán contener los siguientes campos como mínimo.

- Número de A
- Número de B
- Fecha de llamada
- Hora de inicio de la llamada
- Hora de fin de la llamada
- Duración total de la llamada en minutos y segundos
- Tipo de servicios
- Código de liberación de la llamada
- Monto de facturación

Los archivos deben ser comparados entre ambas partes para validar que no existan diferencias en los tiempos y criterios de facturación.

6. Conclusiones

Esta propuesta de metodología permite realizar la evaluación de los principales elementos que participan en el establecimiento de sesiones de voz mediante tecnología IP entre las redes de dos distintos proveedores de servicios. Dicha metodología puede ser utilizada para identificar o diagnosticar el origen de un determinado problema entre los elementos que participan para la establecer la interconexión, o bien, puede ser utilizada como herramienta de verificación para que la autoridad correspondiente compruebe que los prestadores del servicio de telefonía cumplen o no con los parámetros de calidad a los que se encuentran comprometidos.

Si bien esta propuesta se encuentra actualmente en fase de desarrollo debido a que la ejecución de estas pruebas depende del caso específico que se esté estudiando y de las atribuciones con las que cuente la autoridad competente que busque realizarlas, quien deberá sustentar legalmente los motivos y fines para la realización de las mismas, este documento sirve como punto de partida y marco de referencia técnico, el cual debe seguir desarrollándose o ser adaptado a las medidas regulatorias que en su momento se encuentren vigentes.

Debe observarse que, en el sector de las telecomunicaciones, la regulación técnica es la clave para poder imponer medidas a los participantes de este mercado, que puedan tener un efecto real para contar con un mercado competitivo y que esto repercuta en beneficio de los usuarios, al poder contar con servicios de calidad a precios justos, y que este impacto pueda ser trasladado como una mejor calidad de vida para la población.

Es por ello que la tarea regulatoria debe ser ejecutada de manera precisa, siguiendo los lineamientos de organismos internacionales como la UIT, atendiendo la evolución tecnológica del sector y teniendo en cuenta la experiencia de otros organismos reguladores internacionales como la FCC, OFCOM, OSPITEL, entre otros.

Mi participación profesional en el desarrollo de esta metodología, me ha permitido poner en práctica los conocimientos adquiridos durante mi preparación a lo largo de la carrera, además de poder visualizar en primera línea las condiciones del mercado de telecomunicaciones de nuestro país, el cual vive uno de los momentos más cruciales y prometedores de su existencia debido a las medidas y obligaciones que han sido impuestas por el organismo regulador de nuestro país. Sin embargo, esta tarea regulatoria está lejos de haber sido concluida, por el contrario, demanda continuidad, una revisión constante de las obligaciones impuestas a los participantes de este mercado, autoevaluación, y una actualización continua a los marcos regulatorios con los que sustenta su actuar.

7. Anexos

ANEXO I Matriz de llamadas para validación de intercambio de tráfico

Matriz de Llamadas									
Llamadas hacia destino local									
#	Número de A	Número de B	Fecha y hora de la llamada	Duración de la llamada [s]	Cuelga A	Cuelga B	Causa de desconexión SIP [Método SIP]	Causa SIP [Código SIP]	Comentarios
1									
2									
3									
.									
.									
N									
Llamadas hacia destino Celular local									

Llamadas hacia destino Celular nacional

Llamadas hacia destino larga distancia nacional

Llamadas hacia destino larga distancia internacional

Llamadas hacia destinos 800 y 900

Llamadas a servicios especiales y marcaciones cortas.

Tonos DTMF durante una llamada

Llamada de Fax									
Recepcion de medio temprano y tono de ocupado									
Servicios de valor agregado (Conferencia de "n" participantes, enrutamiento a un tercer destino, transferencias de llamadas, hold, privacidad, etc.)									

Tabla 15: Matriz de pruebas de llamadas.

ANEXO II Trazados de llamadas

LOCAL

INVITE sip:55443322@172.18.0.27:5060 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/TCP 172.18.130.98:5060;branch=z9hG4bK3D20E2
From: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>;tag=6A456F18-14D2
To: <sip:55443322@172.18.0.27>
Date: Mon, 20 Jul 2015 17:10:57 GMT
Call-ID: 1F11A1A6-2E3911E5-B20FC446-B82F2FDE@172.18.130.98
Supported: 100rel,timer,resource-priority,replaces,histinfo,sdp-anat
Min-SE: 1800
Cisco-Guid: 0499649389-0775492069-2987050054-3090100190
User-Agent: Cisco-SIPGateway/IOS-15.5.1.T1
Allow: INVITE, OPTIONS, BYE, CANCEL, ACK, PRACK, UPDATE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, REGISTER
CSeq: 101 INVITE
Max-Forwards: 70
Timestamp: 1437412257
Contact: <sip:5587654321@172.18.130.98:5060;transport=tcp>
Call-Info: <sip:172.18.130.98:5060>;method="NOTIFY;Event=telephone-event;Duration=2000"
History-Info: <sip:55443322@172.18.0.27:5060>;index=1
Expires: 180
Allow-Events: telephone-event
P-Asserted-Identity: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session;handling=required
Content-Length: 299

v=0
o=CiscoSystemsSIP-GW-UserAgent 8620 3244 IN IP4 172.18.130.98
s=SIP Call
c=IN IP4 172.18.130.98
t=0 0
m=audio 16436 RTP/AVP 0 100 101
c=IN IP4 172.18.130.98
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=rtpmap:100 X-NSE/8000
a=fmtp:100 192-194
a=rtpmap:101 telephone-event/8000
a=fmtp:101 0-16
a=ptime:20

Celular 044

INVITE sip:0445527659911@172.18.0.27:5060 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/TCP 172.18.130.98:5060;branch=z9hG4bK401FF9
From: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>;tag=6A45C454-68A
To: <sip:0445527659911@172.18.0.27>
Date: Mon, 20 Jul 2015 17:11:19 GMT
Call-ID: 2C131A0C-2E3911E5-B215C446-B82F2FDE@172.18.130.98
Supported: 100rel,timer,resource-priority,replaces,histinfo,sdp-anat
Min-SE: 1800
Cisco-Guid: 0707769451-0775492069-2987443270-3090100190
User-Agent: Cisco-SIPGateway/IOS-15.5.1.T1
Allow: INVITE, OPTIONS, BYE, CANCEL, ACK, PRACK, UPDATE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, REGISTER
CSeq: 101 INVITE
Max-Forwards: 70
Timestamp: 1437412279
Contact: <sip:5587654321@172.18.130.98:5060;transport=tcp>
Call-Info: <sip:172.18.130.98:5060>;method="NOTIFY";Event=telephone-event;Duration=2000"
History-Info: <sip:0445527659911@172.18.0.27:5060>;index=1
Expires: 180
Allow-Events: telephone-event
P-Asserted-Identity: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session;handling=required
Content-Length: 299

v=0
o=CiscoSystemsSIP-GW-UserAgent 7380 1503 IN IP4 172.18.130.98
s=SIP Call
c=IN IP4 172.18.130.98
t=0 0
m=audio 16438 RTP/AVP 0 100 101
c=IN IP4 172.18.130.98
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=rtpmap:100 X-NSE/8000
a=fmtp:100 192-194
a=rtpmap:101 telephone-event/8000
a=fmtp:101 0-16
a=ptime:20

LDN

INVITE sip:013341606062@172.18.0.27:5060 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/TCP 172.18.130.98:5060;branch=z9hG4bK38DF5
From: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>;tag=6A3DC1CC-108A
To: <sip:013341606062@172.18.0.27>

Date: Mon, 20 Jul 2015 17:02:34 GMT
Call-ID: F3303A6E-2E3711E5-B1F1C446-B82F2FDE@172.18.130.98
Supported: 100rel,timer,resource-priority,replaces,histinfo,sdp-anat
Min-SE: 1800
Cisco-Guid: 3948864261-0775360997-2985083974-3090100190
User-Agent: Cisco-SIPGateway/IOS-15.5.1.T1
Allow: INVITE, OPTIONS, BYE, CANCEL, ACK, PRACK, UPDATE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, REGISTER
CSeq: 101 INVITE
Max-Forwards: 70
Timestamp: 1437411754
Contact: <sip:5587654321@172.18.130.98:5060;transport=tcp>
Call-Info: <sip:172.18.130.98:5060>;method="NOTIFY;Event=telephone-event;Duration=2000"
History-Info: <sip:013341606062@172.18.0.27:5060>;index=1
Expires: 180
Allow-Events: telephone-event
P-Asserted-Identity: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session;handling=required
Content-Length: 299

v=0
o=CiscoSystemsSIP-GW-UserAgent 9117 3731 IN IP4 172.18.130.98
s=SIP Call
c=IN IP4 172.18.130.98
t=0 0
m=audio 16432 RTP/AVP 0 100 101
c=IN IP4 172.18.130.98
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=rtpmap:100 X-NSE/8000
a=fmtp:100 192-194
a=rtpmap:101 telephone-event/8000
a=fmtp:101 0-16
a=ptime:20

045

LDI

INVITE sip:0018884842447@172.18.0.27:5060 SIP/2.0
Via: SIP/2.0/TCP 172.18.130.98:5060;branch=z9hG4bK452270
From: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>;tag=6A48347C-125C
To: <sip:0018884842447@172.18.0.27>
Date: Mon, 20 Jul 2015 17:13:58 GMT
Call-ID: 8B50323C-2E3911E5-B22DC446-B82F2FDE@172.18.130.98

Supported: 100rel,timer,resource-priority,replaces,histinfo,sdp-anat
Min-SE: 1800
Cisco-Guid: 2145048890-0775492069-2988885062-3090100190
User-Agent: Cisco-SIPGateway/IOS-15.5.1.T1
Allow: INVITE, OPTIONS, BYE, CANCEL, ACK, PRACK, UPDATE, REFER, SUBSCRIBE, NOTIFY, INFO, REGISTER
CSeq: 101 INVITE
Max-Forwards: 70
Timestamp: 1437412438
Contact: <sip:5587654321@172.18.130.98:5060;transport=tcp>
Call-Info: <sip:172.18.130.98:5060>;method="NOTIFY;Event=telephone-event;Duration=2000"
History-Info: <sip:0018884842447@172.18.0.27:5060>;index=1
Expires: 180
Allow-Events: telephone-event
P-Asserted-Identity: "Test Phone" <sip:5587654321@172.18.130.98>
Content-Type: application/sdp
Content-Disposition: session;handling=required
Content-Length: 299

v=0
o=CiscoSystemsSIP-GW-UserAgent 5136 3243 IN IP4 172.18.130.98
s=SIP Call
c=IN IP4 172.18.130.98
t=0 0
m=audio 16444 RTP/AVP 0 100 101
c=IN IP4 172.18.130.98
a=rtpmap:0 PCMU/8000
a=rtpmap:100 X-NSE/8000
a=fmtp:100 192-194
a=rtpmap:101 telephone-event/8000
a=fmtp:101 0-16
a=ptime:20

ENTRADA

INVITE sip:5587654321@200.66.81.84:5060;user=phone SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP sia-SSOPERADOR1-CA146.operador.net.mx:5060;branch=z9hG4bK_11461794791247133261
From: "Gabriel Huichan" <sip:5541602500@sia-SSOPERADOR1-CA146.operador.net.mx;user=phone>;tag=2_1146_f179479_h344_CtkS8BB876
To: <sip:305*5587654321@201.149.9.140;user=phone>
Call-ID: 1561516745@sia-SSOPERADOR1-CA146.operador.net.mx
CSeq: 101 INVITE
Max-Forwards: 19
Supported: 100rel,replaces,unknown
Contact: <sip:5541602500@sia-SSOPERADOR1-CA146.operador.net.mx:5060;transport=udp>
Allow:

INVITE,ACK,BYE,CANCEL,OPTIONS,REGISTER,INFO,PRACK,SUBSCRIBE,NOTIFY,REFER,UPDATE

User-Agent: BTS10200/900-06.00.01.V02 (SIA)

Content-Length: 337

Content-Type: application/sdp

v=0

o=BroadWorks 84569367 1 IN IP4 138.108.32.18

s=-

c=IN IP4 200.66.81.90

t=0 0

m=audio 51858 RTP/AVP 8 0 100 106 6 105 3 5 101

a=rtpmap:100 SPEEX/16000

a=rtpmap:106 SPEEX-FEC/16000

a=rtpmap:105 SPEEX-FEC/8000

a=fmtp:101 0-15

a=rtpmap:101 telephone-event/8000

a=sendrecv

a=x-rtp-session-id:27374D8A6DEC4D32BCA35756FC80EDA4

8. Referencias bibliográficas

- [1] NGN ARCHITECTURES, PROTOCOLS AND SERVICES, Janevski Toni, Editorial Wiley, 2014
- [2] IP Telephony Interconnection Reference, Challenges, Models, and Engineering, Boucadair Mohamed, Editorial CRC Press, 2010.
- [3] ITU-T Recommendation Y.2001, General overview of NGN
https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/ngn2004/working_definition.html
- [4] IP International Interconnections for Voice and Other Related Services, June 2009. INTERNATIONAL INTERCONNECTION FORUM FOR SERVICES OVER IP, i3.
- [5] ITU-T G.114, One-way transmission time.
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.114-200305-I/en>
- [6] RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 3550, Schulzrinne, H., S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. 2003.
- [7] SIP: Session Initiation Protocol. RFC 3261, Rosenberg, J., H. Schulzrinne, G. Camarillo, A. Johnston, J. Peterson, R. Sparks, M. Handley, and E. Schooler. 2002.
- [8] ITU-T E.411 International network management – Operational guidance.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-E.411/es>
- [9] ITU-T E.437 Comparative metrics for network performance management.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-E.437/en>
- [10] Computer Networks: VoIP: A comprehensive survey on a promising technology, Karapantazis, 2009
- [11] ITU-T G.1020, Performance parameter definitions for quality of speech and other voiceband applications utilizing IP networks.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1020/en>
- [12] ITU-T Y.1541, Network performance objectives for IP-based services.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541-201112-I>
- [13] ITU-T G.113, Transmission impairments due to speech processing.
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.113-200711-I>

- [14] ITU-T G.1010, End-user multimedia QoS categories.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1010/es>
- [15] Technical Interconnection Model for International Voice Services, Release 6.0, May 2014, INTERNATIONAL INTERCONNECTION FORUM FOR SERVICES OVER IP, i3.
- [16] IP Communications and Services for NGN, Johnson I. Agbinya, Editorial CRC Press, 2010
- [17] Voice over IP Networks, Quality of service, pricing and security, Pramode K. Verma, Editorial Springer, 2011

9. Acrónimos

ACELP: Algebraic Code-Excited Linear Prediction
ALOC: Duración Promedio de la Conversación
AMR: Códec Multi-tasa Adaptativo
ASR: Tasa de llamadas completadas
ATM: Modo de Transferencia Asíncrona
BGCF: Breakout Gateway Control Function
BHT: Tráfico en la hora cargada
CS-ACELP: Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction
CSCF: Función de Control de Sesión de Llamada
DNS: Sistema de Nombres de Dominio
DTMF: Tono dual multi-frecuencia
DWDM: Multiplexación compacta por división de longitud de onda
HTTP: Protocolo de Transferencia de Hipertexto
IETF: Internet Engineering Task Force
IoT: Internet de las cosas
IP: Protocolo de Internet
ISDN: Red Digital de Servicios Integrados
ISUP: Subsistema usuario para ISDN
IXP: Punto de intercambio de Internet
LFTyR: Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiocomunicación
MGCF: Función de Controlador del Media Gateway
MGW: Media Gateway
MOS: Puntuación de opinión media
MPLS: Multiprotocolo de Conmutación por Etiquetas
NAT: Traductor de Direcciones de Red
NER: Tasa de eficiencia de red
NGN: Red de Nueva Generación
PCM: Modulación por codificación de pulsos
PGRD: Retardo de Timbrado Post Gateway
PDH: Jerarquía Digital Plesiócrona
PLC: Ocultamiento de Pérdida de Paquetes
PLMN: Red Pública Móvil Terrestre
PSTN: Red Telefónica Pública Conmutada
QoS: Calidad de Servicio
RTCP: Protocolo de Control de Transporte de Tiempo Real
RTP: Protocolo de Transporte de Tiempo Real
SBC: Controlador de Sesiones de frontera
SCTP: Protocolo de control de transmisiones de corrientes

SDH: Jerarquía Digital Síncrona
SDP: Protocolo de Descripción de Sesión
SGW: Gateway de señalización
SIP: Protocolo de Inicio de Sesión
SLA: Acuerdo de Nivel de Servicio
SMTP: Protocolo para la Transferencia de Correo Simple
SS7: Sistema de Señalización por canal común No. 7
TCP: Protocolo de Control de Transmisión
TDM: Multiplexación por división de tiempo
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
UDP: Protocolo de Datagrama de Usuario
VoIP: Voz sobre protocolo de Internet.
VoLTE: Voz sobre LTE