



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO DE VOZ SOBRE IP, MEDIANTE EL
PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN (SIP), EN TRONCALES DIGITALES**

Javier Antonio Peña Jacobo

Asesorado por el Ing. Erik Arnulfo Santizo Bardales

Guatemala, junio de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO DE VOZ SOBRE IP, MEDIANTE EL
PROTOCOLO DE INICIO DE SESION (SIP), EN TRONCALES DIGITALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAVIER ANTONIO PEÑA JACOBO

ASESORADO POR EL ING. ERIK ARNULFO SANTIZO BARDALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salome Rodríguez de Loukota.
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate.
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco.
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO DE VOZ SOBRE IP, MEDIANTE EL PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN (SIP), EN TRONCALES DIGITALES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 25 de abril de 2017.


Javier Antonio Peña Jacobo

Guatemala, 22 de Febrero de 2019

Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Faculta de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Apreciable Ing. Julio Cesar Solares:

Me permito dar como aprobado el trabajo de graduación titulado: "Diseño para la redundancia de tráfico de voz sobre IP, mediante el protocolo de inicio de sesión (SIP), en troncales digitales", desarrollado por el estudiante Javier Antonio Peña Jacobo, con carné 2004-13665 de la carrera de ingeniería Electrónica, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Erik Arnulfo Santizo Bardales
Asesor de tesis

Erik Arnulfo Santizo Bardales
**INGENIERO EN
CIENCIAS Y SISTEMAS
Col. 8775**



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 28 de febrero de 2019

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO DE VOZ SOBRE IP, MEDIANTE EL PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN (SIP), EN TRONCALES DIGITALES**, desarrollado por el estudiante **Javier Antonio Peña Jacobo**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica



REF. EIME 24. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación de el estudiante: JAVIER ANTONIO PEÑA JACOBO titulado: DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO DE VOZ SOBRE IP, MEDIANTE EL PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN (SIP), EN TRONCALES DIGITALES, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andriño González



GUATEMALA, 11 DE ABRIL 2019.

Universidad de San Carlos
De Guatemala

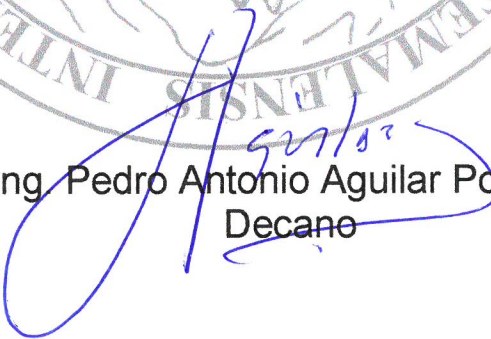


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.281-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO DE VOZ SOBRE IP, MEDIANTE EL PROTOCOLO DE INICIO DE SESIÓN (SIP), EN TRONCALES DIGITALES"** presentado por el estudiante: **Javier Antonio Peña Jacobo**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, Junio de 2019

/echm



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por el don de la vida, y a quien he encontrado reflejado en mi familia, que han sido influencia en la búsqueda de este anhelo.
Mis padres	Felipe Peña y Ana Leticia de Peña. Por todo su amor y consejos brindados en todo proceso de formación académico y espiritual.
Mis abuelas	María Cristina Martínez de Jacobo (q.e.p.d) y Natividad Girón de Peña. Por todo su amor e inculcarme la voluntad para lograr el éxito.
Mis hermanos	Omar y Leslie. Por su presencia en mi vida y haberme enseñado el valor de una vocación.
Mis tías y tíos	Por brindarme su apoyo siempre y enseñarme el valor del trabajo.
Mis primas y primos	Por ser una importante fuente de motivación en mi carrera.
Escuela Marista Z.6	A la congregación de los Hnos. Maristas de C.A. Por forjar en mí, un espíritu de superación, en los primeros años de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Que me permitió ser parte de su cultura y me brindó la oportunidad de vivir tantas experiencias que me prepararon para enfrentar grandes retos en mi vida.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme ser parte de ella y brindarme los medios y herramientas para lograr el éxito.
Escuela de Mecánica Eléctrica	Por brindarme el conocimiento necesario para desarrollarme como profesional.
Mi asesor	Ing. Erik Santizo, por su acompañamiento y motivación en la realización de este trabajo de graduación.
Mis amigos	Por su presencia, y ser una importante fuente de motivación y superación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS GENERALES	1
1.1. Inicios y evolución de la telefonía	1
1.1.1. Sistema telefónico	2
1.1.2. Digitalización de la voz	3
1.1.3. Sistema de transmisión PCM.....	8
1.1.4. Ventajas y desventajas de la conmutación análoga.....	9
1.1.5. Convergencia entre voz y datos	10
1.2. Redes de datos	11
1.2.1. Redes LAN	12
1.2.2. Redes WAN	12
1.2.3. Dispositivos que conforman una red.....	13
1.2.3.1. Dispositivos de usuario final	13
1.2.3.2. Dispositivos de red	14
1.2.4. Protocolos de red y modelos de referencia	15
1.2.4.1. Modelo TCP/IP	16
1.2.4.2. Protocolo de control de transmisión.....	17
1.2.4.3. Protocolo de datagrama de usuarios ...	17

	1.2.4.4.	Modelo OSI	18
	1.2.4.5.	Protocolos en VoIP	20
1.3.		Enrutamiento IP	21
	1.3.1.	Enrutamiento estático.....	21
	1.3.2.	Enrutamiento dinámico.....	22
	1.3.3.	Vector distancia y Link-State.....	23
	1.3.4.	Algoritmo Dijkstra y protocolo OSPF	24
2.		RED DE TELEFONÍA, CONMUTACION Y TRANSPORTE.....	25
2.1.		Estructura de red.....	25
	2.1.1.	Tipos de redes de telefonía.....	27
		2.1.1.1. Red de telefonía pública conmutada	27
		2.1.1.2. Red móvil	28
		2.1.1.3. Red privada.....	28
2.2.		Conmutación telefónica.....	28
	2.2.1.	Conmutación basada en circuitos	29
	2.2.2.	Conmutación basada en paquetes.....	30
2.3.		Sistemas de conmutación	30
	2.3.1.	Sistemas mecánicos y electromecánicos	31
	2.3.2.	Sistemas electrónicos	32
		2.3.2.1. El sistema digital AXE	33
		2.3.2.1.1. Sub-sistema APZ	34
		2.3.2.1.2. Sub-sistema APT	34
	2.3.3.	Red de siguiente generación.....	34
		2.3.3.1. Arquitectura de red NGN.....	35
		2.3.3.1.1. El Softswitch.....	35
		2.3.3.1.2. Gateway.....	35
		2.3.3.1.3. Protocolos en NGN	37
2.4.		Medios de transmisión en telefonía.....	38

2.4.1.	Medios cableados.....	38
2.4.1.1.	Cableados de cobre.....	38
2.4.1.2.	Fibra óptica.....	39
2.4.1.2.1.	Estructura de la fibra óptica.....	39
2.4.1.2.2.	Fibra multimodo.....	40
2.4.1.2.3.	Fibra monomodo	40
2.4.1.2.4.	Ventajas de la fibra óptica.....	41
2.4.2.	Medios por radiofrecuencia.....	42
2.4.2.1.	Radioenlaces análogos	43
2.4.2.2.	Radioenlaces digitales.....	43
3.	TELEFONIA IP	47
3.1.	Voz sobre IP	47
3.1.1.	VoIP y telefonía convencional.....	49
3.2.	Funcionamiento de VoIP	49
3.3.	Codificadores.....	50
3.4.	El Estándar H.323	52
3.4.1.	Terminales.....	52
3.4.2.	Puerta de enlace (Gateway)	54
3.5.	El SBC.....	54
3.6.	Protocolo SIP.....	55
3.6.1.	Arquitectura SIP.....	56
3.6.2.	Flujo de mensajes en una llamada SIP	57
4.	DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO VOIP EN TRONCALES DIGITALES.....	61
4.1.	Sistemas redundantes.....	61

4.2.	Red de servicios.....	61
4.3.	Circuito para VoIP con troncal SIP y su redundancia.....	63
4.3.1.	Elementos que componen el circuito.....	63
4.3.1.1.	Central de telefonía IP.....	64
4.3.1.2.	Troncal SIP.....	64
4.3.1.3.	SBC.....	64
4.3.1.4.	Núcleo IP y última milla	65
4.3.2.	Redundancia del circuito	65
4.3.3.	Escenarios de falla	66
4.4.	Diseño en el núcleo de voz	67
4.4.1.	Origen y enrutamiento de la llamada.....	69
4.4.2.	Selección automática de circuito	69
4.4.3.	Conmutación para troncal SIP activo y en reposo... 70	
4.5.	Diseño en el núcleo IP	72
4.5.1.	Configuración de ospf	73
4.5.2.	Interconexión entre la red IP y red de telefonía	75
4.5.2.1.	Configuración de sub-interfaz.....	76
4.6.	Diagrama final	78
4.7.	Estudio económico.....	79
4.7.1.	Costo enlace por cobre	79
4.7.2.	Costos de enlace por fibra óptica	80
4.7.3.	Costos de enlaces por radiofrecuencia	81
4.7.4.	Inversión inicial.....	82
4.7.5.	Rentabilidad del proyecto	83
4.7.6.	Viabilidad económica	83
	CONCLUSIONES.....	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA.....	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Circuito telefónico unidireccional	3
2.	Señal PAM de muestreo natural	5
3.	Cuantificación.....	6
4.	Ley A de cuantificación	7
5.	Sistema de transmisión PCM.....	8
6.	Red LAN y WAN	13
7.	Modelo TCP/IP.....	16
8.	Modelo OSI (Envío datos).....	19
9.	Modelo OSI (Recepción de datos)	20
10.	Red de telefonía mallada	25
11.	Ejemplo de arquitectura de red telefónica	27
12.	Central telefónica operada manualmente.....	31
13.	Sistema Strowger Siemens&Halske.....	32
14.	Arquitectura del sistema AXE.....	33
15.	Arquitectura NGN.....	36
16.	Estructura de la fibra óptica.....	40
17.	Fibra monodomo y multimodo.....	41
18.	Jerarquía SDH	44
19.	Sistema radiante	45
20.	Teléfonos IP	53
21.	Softphone´s.....	53
22.	Flujo de una llamada SIP	58
23.	Red de servicios en telefonía	62

24.	Circuito con troncal SIP para VoIP.....	63
25.	Redundancia de circuito troncal SIP.....	66
26.	Diagrama de flujo de conmutación SIP.....	68
27.	Troncal SIP principal activo.....	70
28.	Conmutación de tráfico.....	71
29.	Topología de red en anillo.....	72
30.	Interconexión red IP & red de telefonía IP.....	75
31.	Diagrama unificado.....	78

TABLAS

I.	Costo de instalación enlace por cobre.....	80
II.	Costo de instalación enlace por fibra óptica.....	81
III.	Costo de instalación enlace por radiofrecuencia.....	82
IV.	Resumen inversión inicial por medio de transporte.....	82
V.	Renta mensual por medio de transporte.....	83
VI.	Flujo efectivo.....	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hz	Hertz, unidad de medida para la frecuencia
kbps	velocidad de transmisión, 1000 bits por segundo
ms	Milisegundos
mt	Metro
μm	Micrómetro
μ	Letra del alfabeto griego "Mi"

GLOSARIO

Abonado	Usuario dentro de una red de telefonía.
Acometida	Punto de acceso del cableado exterior de una red de distribución a la red domiciliar.
Algoritmo	Conjunto de operaciones que se ejecutan en forma sistemática para la solución a un problema.
Bit	En sistemas informáticos, unidad más pequeña de representar información, puede tener dos valores uno o cero.
Broadcast	Mensaje a través de la red informática enviado de forma simultánea a varios destinos.
Código Morse	Sistema que utiliza impulsos de señales eléctricas para representar letras y números.
Firewall	Sistema de protección contra ataques informáticos.
Gateway	Punto de conexión entre dos redes o dispositivos de red.
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i> , es un estándar para red móvil de segunda generación, 2G.
Hardware	Conjunto de elementos físicos que componen un sistema o red informática.

ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones, ente regulador de telecomunicaciones a nivel mundial.
LTE	<i>Long Term Evolution</i> , estándar para la transmisión de datos a alta velocidad en una red móvil.
Multimedia	Conjunto de distintos medios de comunicación, como texto, imagen, video, sonido.
Multiplexación	Técnica para enviar múltiples señales a través de un único canal.
Softphone	Software diseñado para realizar llamadas a través de un ordenador.
Softswitch	Principal elemento de control en la arquitectura NGN.
Software	Conjunto de instrucciones y programas para ejecutar tareas dentro de un sistema.
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , red móvil de tercera generación, 3G, es una extensión de la tecnología GSM.

RESUMEN

Si bien es cierto que la comunicación a través de redes móviles, continúa expandiéndose a gran velocidad y supera el negocio sobre la telefonía fija, a nivel corporativo las empresas tienen necesidades particulares de comunicarse y de hacer negocio, la mayoría de empresas continúa haciendo uso de la red de telefonía pública conmutada, que soportan todos los servicios telefónicos tradicionales.

Entregar un servicio redundante para enlaces corporativos de tráfico de voz sobre IP, es de vital importancia para mantener la disponibilidad del tráfico de llamadas, que se convierte en ingresos para una compañía.

Las centrales de telefonía han evolucionado a plataformas que les permiten la conectividad IP, haciendo más eficiente el transporte de la voz, y la conmutación de paquetes.

Existen tres importantes medios de transporte que logran llevar el servicio a la sede de los clientes, los servicios brindados por cobre, fibra óptica y los enlaces por radiofrecuencia.

En el presente informe de graduación se da un enfoque a la tecnología de próxima generación en telefonía IP, y la conmutación de tráfico de voz y su distribución por la red en planta externa para conocer sus ventajas y desventajas, por último, se brinda un estudio económico de la implementación de cada tecnología y como puede aportar a la solución de pérdidas de conectividad y tráfico de voz sobre IP.

OBJETIVOS

General

Diseñar un modelo que brinde redundancia de tráfico de voz sobre IP, orientado a enlaces corporativos en empresas guatemaltecas.

Específicos

1. Conocer las bases y elementos de red que conformen el proceso de comunicación de un sistema de comunicación digital.
2. Comprender las características de cada equipo involucrado en el modelo de red, específicamente aquellos que convierten la voz convencional en tráfico IP, así como los que brindan redundancia.
3. Dar a conocer el protocolo SIP y su aplicación en troncales digitales, como un medio para implementar tráfico redundante de voz sobre IP (VoIP).
4. Exponer la viabilidad económica para la implementación de un sistema redundante de VoIP.

INTRODUCCIÓN

En telecomunicaciones, la ocurrencia de fenómenos naturales, como terremotos, inundaciones, tempestades, por mencionar algunos, y que además se presentan de forma esporádicos y aleatoria, puede llegar a impactar el desempeño de la red de servicios de un proveedor o bien el enlace dedicado de los usuarios de la misma, afectando cualquier elemento de conectividad dentro del núcleo de la red, red de transporte, red de acceso, planta externa y la última milla inclusive.

El principal reto para las empresas de telecomunicaciones y proveedores de servicios en general, es mantener la estabilidad de sus servicios, dando lugar a técnicas y enlaces con redundancia, uno de estos servicios es la voz.

Desde hace ya algún tiempo, la voz es capaz de ser transportada por un medio IP, en lo que se conoce como voz sobre IP o VoIP, se implementaron protocolos, como el SIP (Session Initiation Protocol), encargado del establecimiento del canal para el transporte, y codificadores encargados de la conversión de análogo a digital y viceversa de la voz.

El desarrollo tecnológico de la telefonía convencional análoga a digital, ha ido ganando campo en las telecomunicaciones dentro del ámbito corporativo del país, en gran parte porque puede convivir en un mismo medio de transporte, con otros servicios de interconexiones IP e inclusive internet.

1. ANTECEDENTES Y CONCEPTOS GENERALES

El primer medio de comunicación a larga distancia que existió fue el telégrafo, durante gran parte del siglo XIX fue el único medio para transmitir mensajes utilizando codificación en clave morse, fue un sistema bastante aceptado y de buen funcionamiento, para la época era notorio la necesidad de transmitir directamente la voz humana.

1.1. Inicios y evolución de la telefonía

La invención de un aparato capaz de transmitir la voz humana dio inicio a la era de la telefonía, originalmente se atribuyó la invención del primer teléfono al estadounidense de origen escocés Graham Bell, sin embargo, en junio de 2002 el congreso de los Estados Unidos reconoció como primer inventor al italiano Antonio Meucci, quien alrededor del año 1857 construyó el primer aparato que años más tarde nombraría "teletrófono" y que en 1860 saldría en publicaciones de periódicos en la ciudad de New York, Meucci careció de recursos para poder patentar su invento, únicamente pudo presentar una descripción de su invento en 1871 más no así lograr formalizarla.

Fue Graham Bell el primero en patentar su invento en el año de 1876, tras descubrir que la voz humana era capaz de ser transportada sobre corriente continua.

En un principio la voz se transportó sobre conmutadores análogos, la era digital de la electrónica trajo consigo circuitos capaces de convertir la voz convencional en impulsos eléctricos, se implementaron técnicas de multiplexado capaces de enviar un tren e impulsos de forma sincronizada, dichas técnicas evolucionaron luego a sistemas de codificación y decodificación, capaces de ser transportados a través de un medio IP.

1.1.1. Sistema telefónico

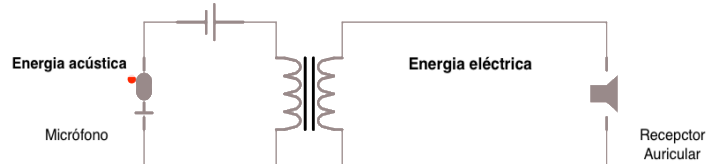
En términos prácticos, un sistema de telefonía consta de dos grandes partes, la parte de transmisión y la parte de conmutación.

La primera encargada de transportar los mensajes es su forma eléctrica (análoga o digital) desde el emisor hasta el receptor, utilizando toda la gama de normas, protocolos de transporte, codificación, y jerarquías de multiplexación conocidas, y que dependerán del diseño de la red propiamente de cada operador.

La segunda encargada del establecimiento de la comunicación y en donde conviven centrales con toda la electrónica y circuitería necesaria para que, a través de algoritmos, sean capaces de forma inteligente y automática de establecer la ruta correcta de cada llamada del emisor al receptor, función que en un inicio era realizada por operadores humanos cuya tarea era la atención de la llamada del emisor y su interconexión física al receptor, a través de centrales con una matriz de puertos físicos, brindando conectividad al circuito telefónico encargado del transporte de la voz.

El circuito telefónico en su representación unidireccional y en un esquema simple se muestra en la figura 1.

Figura 1. **Circuito telefónico unidireccional**



Fuente: elaboración propia, empleando iCircuit 1.9.1.

Se compone de un micrófono encargado de la recepción y conversión de la energía acústica a una señal eléctrica, una batería generadora de corriente continua y modulada proporcional y en función de la señal eléctrica entrante, un transformador o bobina de inducción, encargada del acople de impedancias entre el circuito emisor y la línea de transmisión y cuya función es inyectar la señal a la línea de transmisión por donde viaja la energía eléctrica al receptor, por último un auricular, encargado de transformar la energía eléctrica de nuevo en energía acústica audible.

Si bien es cierto hoy en día este circuito está contenido en tarjetas electrónicas dentro de cada central de telefonía, su lógica y principio continúa siendo el mismo, con el pasar avance tecnológico surgieron nuevas ideas y técnicas tanto de transporte como para mejorar la calidad de la voz.

1.1.2. **Digitalización de la voz**

La digitalización de señales no es más que el proceso mediante el cual se convierte una señal analógica en digital, utilizando técnicas de muestreo, convertidores y sistemas de codificación entre otros. A inicios de los años 70s, con la aparición del primer ordenador, con capacidad de almacenar y procesar

códigos binarios, ha existido la tendencia para digitalizar cualquier tipo de información cuya representación es por su naturaleza análoga, como lo puede ser la voz y el video.

Existen varios métodos de digitalización de señales, siendo el más habitual la modulación por impulsos codificados (PCM, Pulse Code Modulation, por sus siglas en inglés) por su calidad y capacidad de procesar la información transmitida dentro de un sistema de telefonía, este proceso consta de tres etapas para llevar a cabo la digitalización: muestreo, cuantificación y codificación.

El muestreo es una técnica mediante la cual se toma una muestra de la señal original mediante una señal continua y en forma de impulsos, a intervalos igual al inverso del doble de la frecuencia máxima a transmitir, expresado en términos de la frecuencia esto sería: $f_s \geq 2B$, esto se conoce como teorema de muestro o de Nyquist, donde B es la frecuencia máxima.

Cada muestra asigna un valor a cada impulso igual a la amplitud de la señal original en el tiempo exacto de cada muestra, para señales telefónicas que ocupan un rango de frecuencias entre 300Hz y los 3,400Hz, se debe utilizar una frecuencia de muestreo $f_s > 6,800$ Hz, aunque se ha adoptado en la práctica una frecuencia máxima de 8,000 Hz, o bien dicho de otra manera se toman 8,000 muestras por segundo, expresando en función del tiempo, cada impulso estaría a intervalos de:

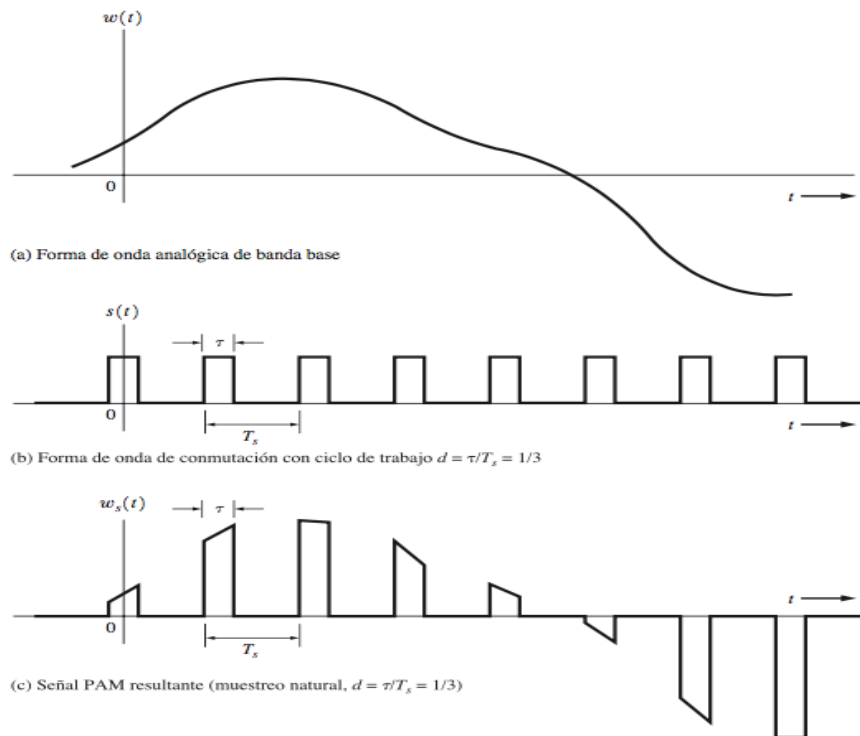
$$T = \frac{1}{8000 \text{ Hz}} = 125 \mu s$$

A esta primera etapa de conversión de una forma de onda analógica continua, donde la amplitud de cada pulso lleva la información de la señal analógica original, se le conoce como modulación por amplitud de pulsos (PAM, Pulse Amplitude Modulation, por sus siglas en ingles).

Una señal de este tipo se muestra en la figura 2, donde $w(t)$ es la señal análoga y limitada en banda, $S(t)$ es la forma de onda que consiste de un tren de impulsos lo suficientemente estrechos para considerarlos instantáneos, la señal PAM se obtiene al multiplicar estas dos formas de onda:

$$w_s(t) = w(t)S(t)$$

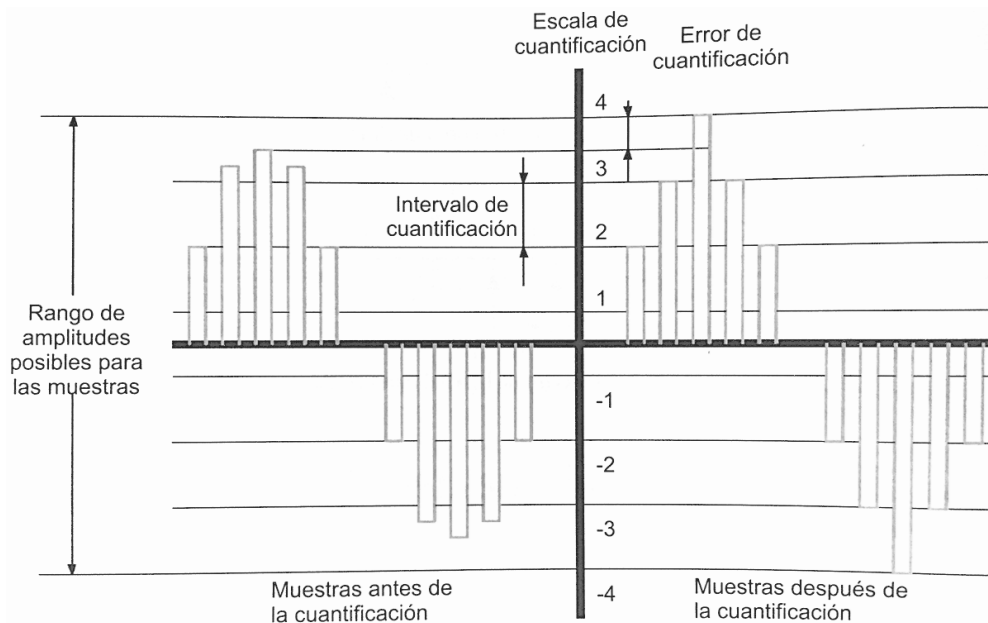
Figura 2. Señal PAM de muestreo natural



Fuente: LEÓN W, Couch II. *Sistemas de comunicación digital y analógicos*. p. 130.

La segunda etapa, la cuantificación, es el proceso mediante el cual cada valor del muestreo es limitado a un rango predeterminado, esto debido a que el rango de amplitudes de la señal original puede ser infinito, por ello se divide todo el posible rango de amplitudes a lo que se conoce como intervalo de cuantificación, de tal forma que todas las muestras que estén dentro de un mismo rango se les asigne un mismo valor, tal como se muestra en la figura 3.

Figura 3. **Cuantificación**



Fuente: CABEZAS POZO, José Damián. *Sistemas de telefonía*. p. 100.

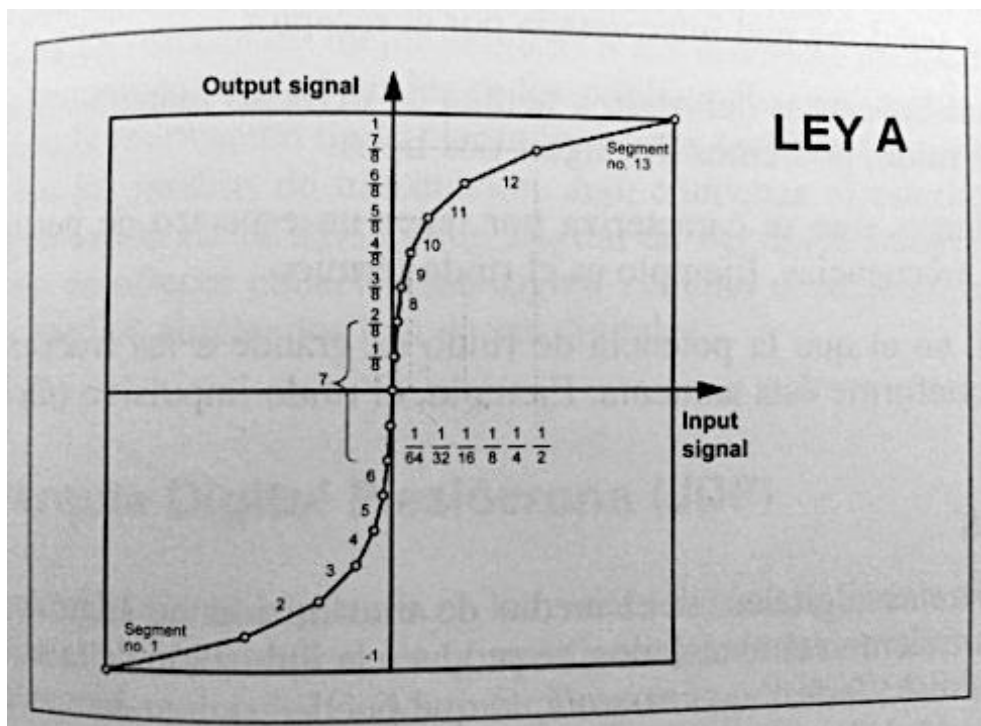
Es notable que durante este procedimiento se produce un error, debido a la aproximación de cada muestra de su valor original al valor dentro del intervalo de cuantificación, este error se conoce como error de cuantificación y está considerado dentro del modelo PCM para la recuperación de la señal y está en función del número total de intervalos en la escala de cuantificación, esto debido a que cada valor tiene su representación en número binario.

El total de intervalos estaría dado por $N = 2^n$ donde N es el número de intervalos y n es el número de bits a utilizar. Si se utilizaran 8 bits se tendría un total de 256 combinaciones o valores posibles, mientras que para 12 bits un total de 4,096 combinaciones, y así sucesivamente, lo que evidencia que si bien es cierto aumentando el número de intervalos se disminuiría el error de cuantificación también es cierto que se necesitaría un mayor ancho de banda por el incremento de bits a utilizar.

Por último, la etapa de codificación es el proceso de asignar un número binario a cada valor previamente cuantificado, los sistemas PCM europeos han adoptado un $N = 256$, es decir 8 bits, en el proceso de codificación, en lo que se conoce como *ley A* de cuantificación. Por su parte en Norteamérica y Japón se utiliza *ley μ* que utiliza el mismo principio que la *ley A* pero que utiliza 15 segmentos en lugar de 13.

Se puede observar en la figura 4, el comportamiento logarítmico para el número de segmentos utilizando 8 bits, en total serían 13 segmentos.

Figura 4. **Ley A de cuantificación**

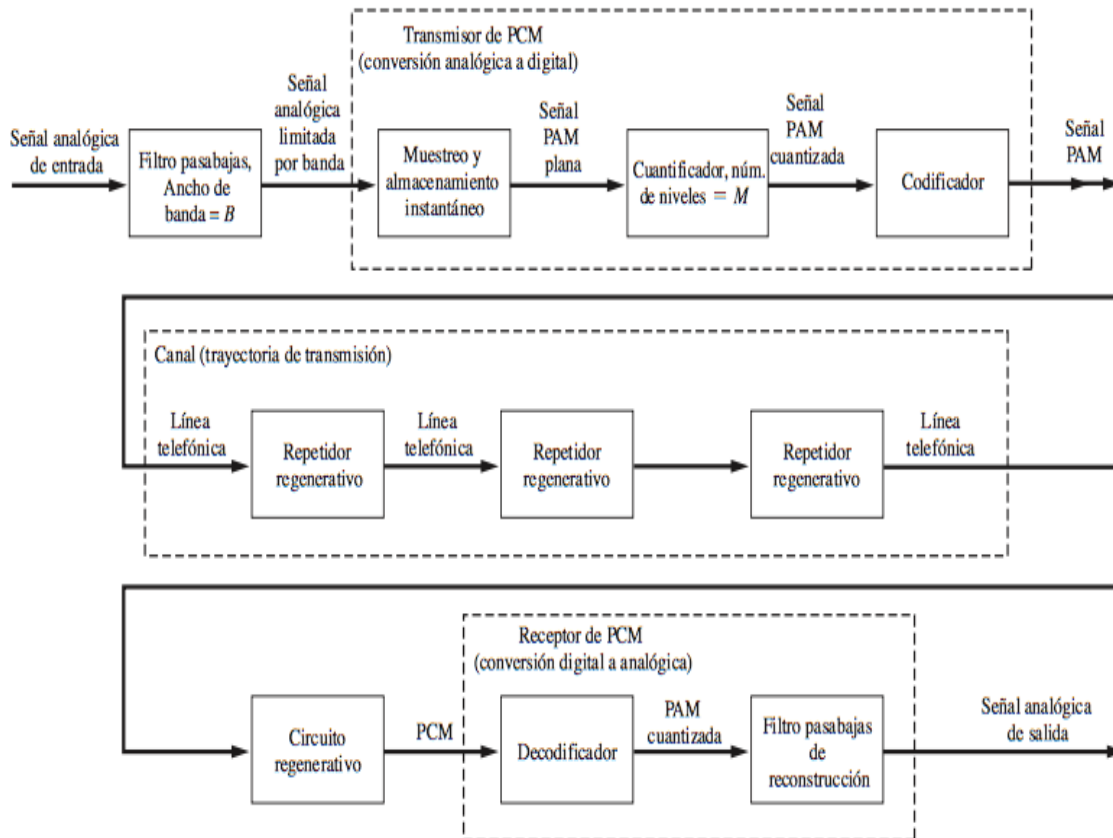


Fuente: HUIDORO MOYA, José Manuel y CONES PASTOR, Rafael. Sistemas de telefonía. p. 233.

1.1.3. Sistema de transmisión PCM

Un sistema de transmisión PCM se muestra en la figura 5.

Figura 5. Sistema de transmisión PCM



Fuente: LEÓN W, Couch, II. *Sistemas de comunicación digital y analógicos*. p. 139.

La señal analógica de entrada es limitada en banda por medio de un filtro pasa bajo a una frecuencia igual a la frecuencia máxima permitida por el sistema (B), dicha señal limitada es muestreada al intervalo de Nyquist ($2B$), dando origen a la señal PAM para luego ser cuantizada y luego codificada, estas tres etapas forman el transmisor de PCM, a su salida entregará un flujo de bit en serie, listos para ser transportados.

En la actualidad existen medios de transporte a través de cobre, fibra óptica o sistemas radiantes, para cada uno de ellos existe una amplia gama de tecnologías y serán tratados más adelante, lo que es común para ellos y es oportuno mencionar, son las pérdidas en el medio las cuales se superponen a través de repetidores y amplificadores de señal.

La señal llega a través de un circuito regenerativo, para minimizar los errores, ingresando a un decodificador encargado de restablecer el código binario representado por el flujo de bits provenientes del transmisor PCM, entregando una señal PAM cuantizada para luego pasar por un filtro pasa bajo, esta etapa forma el receptor de PCM, es evidente que la señal reconstruida es una aproximación de la señal enviada, la clave de una mejor aproximación está en la disminución del error de cuantización, ruido mismo del canal de transporte, la cantidad de bit a utilizar en la transmisión, y conlleva a aplicar la ingeniería del diseño considerando anchos de banda, tasa de transferencia, relación señal a ruido, potencia de transmisión, medios de transporte, entre otros aspectos.

1.1.4. Ventajas y desventajas de la conmutación análoga

En el proceso de establecer una llamada, se reserva un canal de comunicación dentro de las centrales de telefonía, esto tiene grandes ventajas y desventajas en lo que a transmisión se refiere, como ventajas se tienen las siguientes:

- Asegura la calidad de la conexión, debido a que reserva un circuito de forma permanente desde el origen al destino si sufrir retrasos.
- Se garantiza el envío y recepción de información interlocutores.

- Debido a que existe un circuito dedicado para la comunicación, se mantiene la privacidad de la comunicación, porque ningún otro usuario tiene acceso al canal establecido.

Como desventaja, dedicar un circuito o canal por llamada de forma exclusiva, supone un desaprovechamiento del ancho de banda, ocasionando un bajo rendimiento en el sistema.

1.1.5. Convergencia entre voz y datos

La utilización de una misma red IP para la transferencia de datos, voz, video y aplicaciones en general, se denomina convergencia, la transmisión de la voz se da de forma constante y sin variaciones, ocurre en tiempo real y es muy sensible a retardos, contrario a los datos que no le afectan los retardos.

Los retardos son un parámetro a cuidar y tener en cuenta en el envío y recepción de información de acuerdo a la norma ITU-T G.114 se establece un valor inferior a los 150ms como aceptable para mientras de valores en el rango de los 150-400ms ocasionando mala calidad de voz.

1.2. Redes de datos

Las redes de datos surgieron bajo la necesidad de enviar información de una computadora a otra, si dos o más usuarios necesitaban compartir información se hacía uso de disquetes, el método nada eficaz para la actividad empresarial, sin tomar en cuenta que cada vez que se modificaba un archivo, el proceso se repetía.

No fue sino hasta principio de la década de los 80's y de la mano de la evolución de nuevas tecnologías, que las redes de datos fueron atendiendo y brindando solución a la necesidad de las empresas de comunicarse entre sí, cada empresa optó por el uso de estándares propios, haciendo difícil la comunicación entre redes que usaban distintas especificaciones.

La solución a este inconveniente fue la creación de estándares de red de área local (LAN – Local Área Network, por sus siglas en ingles), en la que cada computador interconectaba y compartía información con los usuarios de su misma red, sin embargo, a medida que crecía el uso de computadoras resultó evidente que el uso de las LAN no era suficiente.

Fue así como surgieron las redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan Área Network, por sus siglas en inglés) y redes de área amplia (WAN, Wide Área Network, por sus siglas en inglés).

1.2.1. Redes LAN

Las LAN fueron desarrolladas para compartir información localmente dentro de una empresa entre cualquier elemento de red, dentro de las características de una red LAN se tienen:

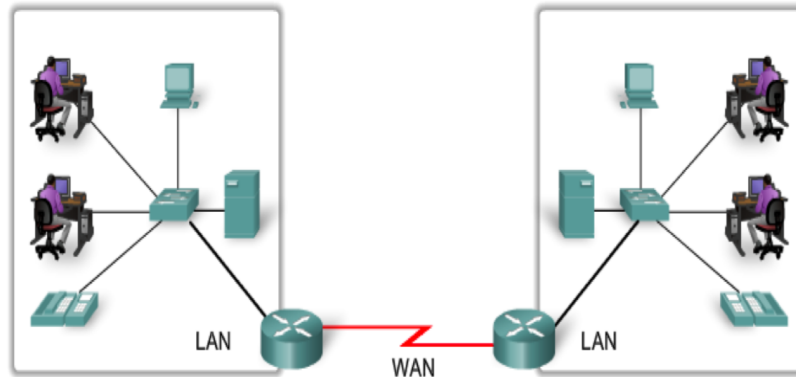
- Trabajar dentro de un área geográfica limitada
- Está diseñada para ser administrada localmente
- Interconecta dispositivos de red físicamente adyacentes
- Brinda conectividad a aplicaciones locales multiacceso con un alto ancho de banda.

1.2.2. Redes WAN

Su función principal es la de interconectar redes LAN, que como se ha expuesto, son las encargadas de proporcionar el acceso a computadoras, servidores en general. Las redes WAN brindan la conectividad entre zonas geográficamente extensas, a continuación, se listan las principales características de este tipo de redes:

- Fueron diseñadas para operar en áreas extensas y distantes
- Interconecta servidores en tiempo real para el uso compartido de información inter empresas.
- Brinda los servicios corporativos de mayor demanda como correo electrónico, transferencia de archivos en general entre redes LAN.

Figura 6. Red LAN y WAN



Fuente: Curso CCNA Exploration versión 4.0.

1.2.3. Dispositivos que conforman una red

Dentro de una red de datos están representados los dispositivos que la conforman en dos grandes grupos, los de usuario y de red.

1.2.3.1. Dispositivos de usuario final

Encargados de conectar a los usuarios a la red también son llamadas hosts, estos permiten la interacción de todo tipo de información a través de la red, estos dispositivos pueden existir sin la necesidad de una red, pero quedarán aislados del mundo exterior limitados a un uso personal.

Cada host está físicamente conectado a la red a través de lo que se conoce como tarjeta de red, que no es más que una tarjeta electrónica con toda la circuitería necesaria para la conexión física hacia la red de datos, dentro de los dispositivos finales se tienen: computadoras personales, impresoras y teléfonos de tecnología IP.

1.2.3.2. Dispositivos de red

Los dispositivos de red son los encargados de interconectar a los dispositivos de usuario final con el fin de transportar los datos que cada usuario de la red transfiera, cada uno de ellos cumple una función específica dentro de la red acorde a su diseño, proporcionando la conexión de cableados, la conversión de formatos, y transferencia de datos de un origen a su destino, algunos de estos dispositivos son:

- Repetidor

Es un dispositivo que reconstruye una señal distorsionada o atenuada por impurezas y ruido dentro de la electrónica de cada dispositivo de la red en la transmisión de cada trama de datos, este dispositivo no tiene una inteligencia útil para la toma de decisiones del destino u origen de un paquete en la red.

- Hub

Los Hub permiten concentrar diferentes puntos de conexión para ser tratados como un mismo elemento de red, básicamente transmite un mensaje que se conoce como “*broadcast*”, es decir, repite el paquete de datos recibido en el número de puertos activos y conectados a él.

- Puente

Los puentes interconectan redes LAN, y a diferencia de los Hub realizan un trabajo de selección para verificar si los datos recibidos pertenecen o no a la red destino, mejorando el rendimiento de la red

- Switches

Los switches administran de forma inteligente una red LAN, tienen la capacidad de determinar si los datos pertenecen o no al segmento de red al cual está configurado.

- Router

El router es el único elemento de red que reúne todas las características de los elementos de red anteriormente mencionados, pueden regenerar señales, concentran múltiples redes y poseen toda la lógica necesaria para identificar los paquetes y hacerlos llegar a su destino o bien desecharlos.

1.2.4. Protocolos de red y modelos de referencia

Los protocolos son un conjunto de reglas para que los dispositivos dentro de la red puedan comunicarse exitosamente, estos definen el formato, estructura y el proceso del mensaje a enviar, el inicio y final de la trama de transferencia, el método para compartir dicha información, el sistema de detección de errores y si se debe o no enviar un mensaje, básicamente es entablar un lenguaje entre los dispositivos para llevar a cabo la transferencia de datos.

Existen varios protocolos dentro de la red y para llevar a cabo la interacción entre ellos, se diseñaron modelos en capas para comprender la estructura de cada red, los modelos sirven para representar el funcionamiento de la misma y por eso son llamados modelos de referencia.

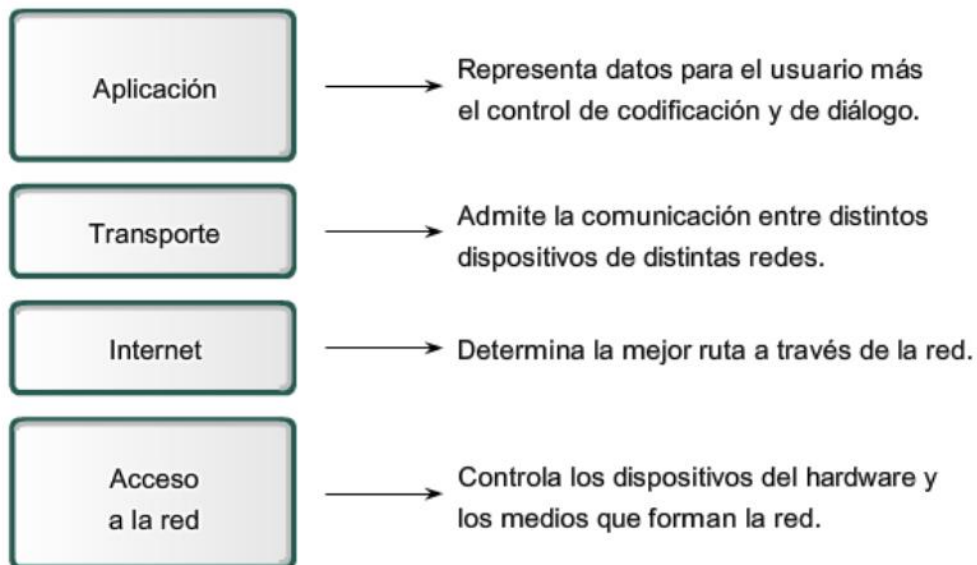
1.2.4.1. Modelo TCP/IP

Fue el primer modelo en capas que se creó, también conocido como modelo de internet, está orientado a la comunicación entre redes extremo a extremo, brinda el formato, transmisión, enrutamiento de los datos enviados y como debe de recibirlos el destino, define 4 capas.

Este modelo describe las funcionalidades de la familia de protocolos TCP/IP en 4 capas, Aplicación, Transporte, Internet y Acceso a la red.

El proceso de transferencia de datos de un extremo a otro, divide en segmentos la trama de datos, y cada segmento se denominado datagrama, cada datagrama cuenta con un identificador denominado cabecera.

Figura 7. **Modelo TCP/IP**



Fuente: Curso CCNA Exploration versión 4.0.

Es el protocolo de internet IP (Internet protocol, por sus siglas en ingles), el encargado de determina la transferencia de cada datagrama dentro de la red IP, los datagramas son segmentos enviados y recibidos de un extremo al otro, durante el trayecto que un datagrama realiza a través de la red, cada dispositivo puede desfragmentar un datagrama y cada nuevo segmento es conocido como paquete, que una vez recibido por su destino vuelve a fragmentarse para formar el datagrama original.

Todo los aplicativos en la red se comunican gracias a la familia de protocolos TCP/IP, de hecho, forman la base de internet y gran cantidad de redes corporativas.

1.2.4.2. Protocolo de control de transmisión

TCP (Transmission Control Protocol, por sus siglas en inglés), es un protocolo de transporte orientado a la seguridad, se asegura de que los paquetes enviados lleguen a su destino por medio de un acuse de recibido, espera el mensaje de respuesta para enviar el siguiente paquete.

1.2.4.3. Protocolo de datagrama de usuarios

UDP (User Datagram Protocol, por sus siglas en inglés), es un protocolo de transporte que a diferencia de TCP, este no está orientado a la seguridad, es decir no se asegura de si el paquete fue entregado.

1.2.4.4. Modelo OSI

El modelo OSI (Open System Interconnection, por sus siglas en inglés), se trata de un conjunto de normas estandarizadas, diseñado en la década de 1980, por la organización internacional de normalización, ISO (International Organization for Standardization, por sus siglas en inglés).

Ya por la época existían diferentes fabricantes, cada uno con tecnologías distintas y se dificultaba la comunicación con otras redes, el modelo OSI se creó para poder enfrentar el inconveniente de incompatibilidades entre redes, la idea fue desarrollar un modelo de red, a fin de poder ayudar a los fabricantes a poder crear redes compatibles entre ellos, convirtiéndose en un modelo de referencia altamente aceptado por las comunicaciones de red.

El modelo plantea siete capas, dentro de cada una de ellas se describe las funcionalidades de la red, desde la interacción de la interfaz hombre-máquina, hasta la transferencia física de datos binarios por los dispositivos de la red.

- **Aplicación:** encargada de proveer la interfaz entre los diferentes aplicativos del usuario final y su conversión a lenguaje máquina, en ella se generan los datos y la conectividad hacia la red de datos.
- **Presentación:** tiene como principal función la codificación, compresión y encriptación de los datos de los aplicativos de los usuarios finales, con el objetivo de que estos sean adecuados para su interpretación en el destino.
- **Sesión:** está orientada a crear y sostener los diálogos extremo a extremo para mantener activa la comunicación.
- **Transporte:** contiene los servicios para administrar, segmentar y transferir los datos a través de los dispositivos dentro de la red de datos, en ella están contenidos los protocolos TCP y UDP.

- Red: en ella están contenidos todos los servicios para el envío y recepción de los datos en la red a través de cuatro procedimientos, direccionamiento, encapsulamiento, enrutamiento y desencapsulamiento, el elemento más común de esta capa es un router o un switch con propiedades de enrutamiento.
- Enlace de datos: provee los servicios a la capa de red brindando el control para los enlaces dentro de la red.
- Física: describe la electrónica y medios físicos sean eléctricos, ópticos, radiantes, necesarios para el funcionamiento y operación de la red, compuesta por cualquier componente en hardware de la red

Figura 8. **Modelo OSI (Envío datos)**



Fuente: Curso CCNA Exploration versión 4.0.

Figura 9. **Modelo OSI (Recepción de datos)**



Fuente: Curso CCNA Exploraiton versión 4.0.

1.2.4.5. **Protocolos en VoIP**

Para que la voz sobre IP fuese soportada sobre cualquier medio que emplee routers, empleando los protocolos de internet y transporte (IP, TCP&UDP), la ITU (International Telecommunication Unit, por sus siglas en inglés) definió los estándares necesarios para las comunicaciones multimedia sobre redes de datos.

Dentro de un sistema que emplee la voz sobre IP, los protocolos mejor adaptados a la red de datos son: H.323, MGCP, MEGACO y SIP, H.323 es quizá el protocolo de mayor implementación, debido en gran parte, a que brinda conectividad con otra gama de protocolos, tales como: H.225, H.245, y Q.931, este último con mayor importancia para la conectividad con la telefonía pública.

En el capítulo 3 de este trabajo de graduación se ampliará los conceptos para esta familia de protocolos.

1.3. Enrutamiento IP

Por enrutamiento IP se entiende el proceso mediante el cual un router tomará la decisión sobre el envío de un paquete a su red destino, dependiendo de la información que contenga en su tabla de enrutamiento o bien a través de un protocolo dinámico, el proceso de determinación de una ruta dará como resultado el envío del paquete a una red directamente conectada, el envío hacia la siguiente red remota, o desechar el paquete sin determinar ruta.

Un router decide el mejor camino para enviar un paquete por medio de un protocolo de enrutamiento y en función de la métrica, que no es más que el método por el cual un algoritmo de enrutamiento determina que una ruta es mejor que otra, las métricas incluyen anchos de banda, costo de comunicación, retardos, conteo de saltos, carga, costo de ruta y confiabilidad, por ejemplo:

- El protocolo RIP utiliza conteo de saltos simple, consiste en el número de saltos o bien routers entre la red origen y su destino.
- El protocolo OSPF por su parte utiliza ancho de banda para determinar la ruta más corta, analiza el ancho de banda más rápido desde un router origen, hacia la red destino.

1.3.1. Enrutamiento estático

Las rutas estáticas se configuran para obtener conectividad remota a redes que no están conectadas directamente un router, dichas rutas están creadas en lo que se conoce como la tabla de enrutamiento, en ella están contenidas las rutas con toda la información necesaria para enviar un paquete a su red destino en búsqueda del mejor camino.

Las redes remotas se agregan a la tabla de enrutamiento mediante la configuración de rutas estáticas o la habilitación de un protocolo de enrutamiento dinámico.

Cuando un router tiene múltiples rutas hacia una red de destino y valor de esta métrica es el mismo, esto se conoce como métrica del mismo costo y el router realizará lo que se conoce como un balanceo de cargas, es decir envía un paquete a por vez distribuido en las múltiples rutas con mismo costo.

La conmutación del paquete será el proceso mediante el cual un router aceptará un paquete en una de sus interfaces y lo reenviará hacia otra interfaz mediante los siguientes pasos:

- Desencapsula el paquete
- Examina la dirección IP destino
- Encapsula el paquete y lo reenvía

Cada router toma sus propias decisiones, sin embargo, no significa que la información que contiene en su tabla de enrutamiento sea conocida por los demás routers de la red, existen protocolos dinámicos que cumplen con esta tarea.

1.3.2. Enrutamiento dinámico

Permiten a los router compartir información de forma dinámica sobre redes remotas y agregar esta información automáticamente en sus propias tablas de enrutamiento, tienen su principal beneficio en que intercambian información de enrutamiento cuando se produce un cambio de topología.

El propósito de enrutamiento incluye:

- Descubrir redes remotas
- Mantener la información de enrutamiento actualizada
- Escoger el mejor camino hacia las redes destino
- Poder encontrar un mejor camino nuevo si la ruta actual deja de estar disponible.

1.3.3. Vector distancia y Link-State

Significa que las rutas se publican como vectores distancia y direcciones, la distancia se define en términos de una métrica como el concepto de saltos y la dirección es simplemente el router del siguiente salto o la interfaz de salida.

A diferencia de la operación del protocolo de enrutamiento vector distancia, un router configurado con un protocolo de enrutamiento de link-state puede crear una “vista completa” o topología real al reunir información proveniente de todos los demás routers.

Los protocolos de enrutamiento link-state no usan actualizaciones periódicas. Luego de que la red ha convergido, la actualización ocurre cuando se produce un cambio en la topología.

Entre los protocolos de enrutamiento vector distancia se incluyen:

- Protocolo de información de enrutamiento (RIP y su versión 2. RIPV2)
- Protocolo de enrutamiento de Gateway interior (IGRP)
- El IGRP mejorado (EIGRP)

1.3.4. Algoritmo Dijkstra y protocolo OSPF

Al algoritmo de Dijkstra se le llama comúnmente algoritmo shortest path first (SPF), este algoritmo acumula costos a lo largo de cada ruta, desde el origen hasta el destino. Si bien el algoritmo de Dijkstra se le conoce como shortest path first (abrir primero la ruta de acceso más corta), éste es de hecho el objetivo de cada algoritmo de enrutamiento.

Cada router calcula el algoritmo SPF y determina el costo desde su propia perspectiva, los routers con protocolo de enrutamiento link-state utilizan un protocolo de saludo para descubrir cualquier vecino en sus enlaces. Un vecino es cualquier router habilitado con el mismo protocolo de enrutamiento de link-state.

OSPF (Open Shortest Path First), es un protocolo de enrutamiento de link-state, se basa en métrica por costo para determinar la mejor ruta, tomando en cuenta parámetros como ancho de banda y congestión.

OSPF opera bajo un sistema basado en áreas, estas áreas son grupos de información que contienen de forma lógica la topología de la red, almacenada en su base de datos Link-State.

La base de datos se mantiene actualizada cada vez que existe un cambio en la topología de la red, y disminuye el tiempo de convergencia en la red OSPF, que no es más que el tiempo que tardan todos los routers en aprender del nuevo cambio, es por ello que cada router basado en sus algoritmos y métricas conoce de forma autónoma la topología de la red y la utiliza para poder calcular la mejor ruta hacia sus destinos.

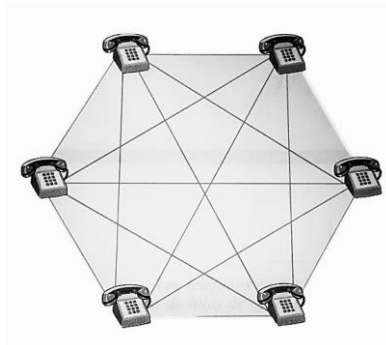
2. RED DE TELEFONÍA, CONMUTACION Y TRANSPORTE

En telecomunicaciones, una red de telefonía es una red que interconecta dos o más usuarios para establecer una comunicación a través de la voz, poco a poco el número de usuarios fue aumentado, dejando atrás los primeros diseños punto a punto que operaban de forma manual, surgiendo una red compuesta por equipos electromecánicos y posteriormente digitales que, en conjunto con su unidad de control, operaban de forma autónoma para establecer un enlace.

2.1. Estructura de red

El modelo inicial de comunicación bidireccional a través de un par de cobre entre dos usuarios dejó de ser viable por el hecho de cubrir la necesidad de comunicar a todos los abonados dentro de la red, dado que cada abonado debería de contar con $N-1$ cableados telefónicos en su terminal, donde N es el número total de abonados en la red. Esto se ejemplifica de una mejor forma suponiendo una red como la de la figura 10.

Figura 10. Red de telefonía mallada



Fuente: CABEZAS POZO, José Damián. *Sistemas de telefonía*. p. 180.

En esta topología el número de enlaces necesario para entablar comunicación por cada usuario estará dado por la siguiente expresión:

$$C = \frac{N(N - 1)}{2}, \text{ con } N = \text{numero de abonados en la red}$$

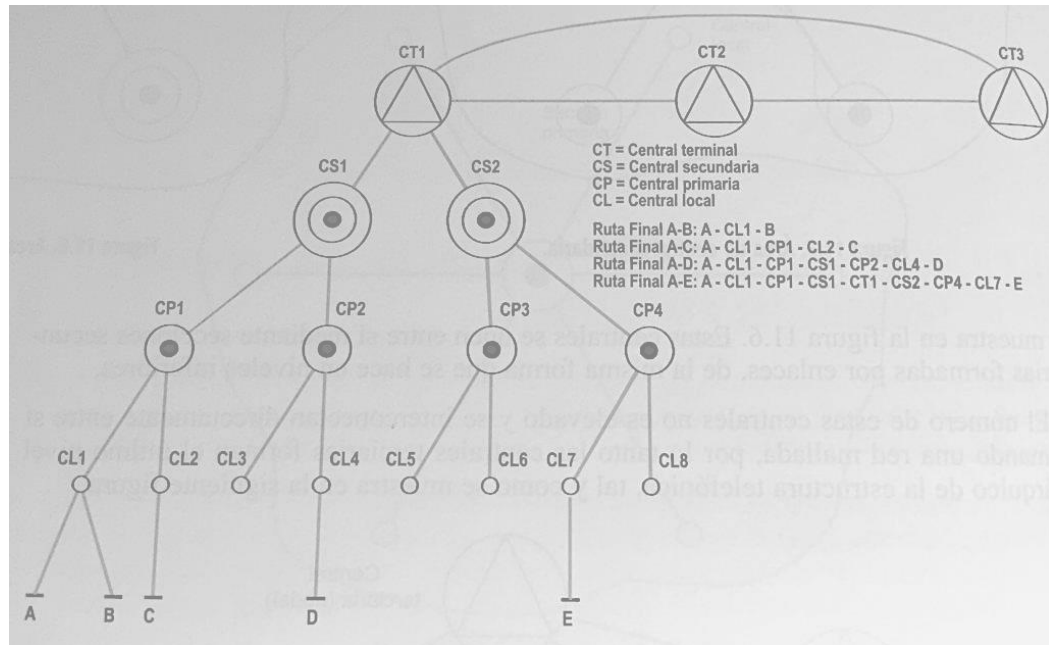
C será la cantidad de enlaces que deberán estar disponibles en el sistema por cada usuario, retomando el ejemplo de la figura 10. Con $N=6$ daría como resultado 15 enlaces, para 10 abonados serían necesarios 45 enlaces, y si suponiendo una red con 1000 abonados se necesitarían 499,500 enlaces, es evidente que entre más abonados existan en la red el número de enlaces crece enormemente a valores fuera de rangos prácticos y el modelo no es viable para su implementación.

De tal manera que surge la necesidad de poner a disposición un concentrador que interconecte a todos los abonados de la red, y así fue como nació el concepto de central telefónica y conmutación.

Las centrales telefónicas operan de forma jerárquica, partiendo de una central que se encuentra en el núcleo de la red llamada central terminal (CT), esta a su vez se comunica con una central secundaria y centrales primarias que finalizan su comunicación con usuarios finales en la red y que cuentan con centrales locales o bien conocidas como PBX.

Las centrales terminales (CT1, CT2, CT3 en la figura 11), de igual forma se interconectan entre ellas para la comunicación entre los abonados de cada red telefónica.

Figura 11. **Ejemplo de arquitectura de red telefónica**



Fuente: CABEZAS POZO, José Damián. *Sistemas de telefonía*. p. 184.

2.1.1. Tipos de redes de telefonía.

Existen tres grupos importantes de redes en telefonía, diferenciados en gran parte por la tecnología en la que operan y el medio que utilizan, para establecer conexión entre la central telefónica y el usuario:

2.1.1.1. Red de telefonía pública conmutada

También conocida como PSTN (Public Switch Telephone Number, por sus siglas en inglés), es una red donde cada abonado cuenta con una línea fija y está conectado directamente a la central telefónica por medio de una red cableada.

2.1.1.2. Red móvil

A diferencia de la PSTN, esta opera de forma inalámbrica por medio de estaciones base que operan en 3 grandes tecnologías que han evolucionado a través de la historia, siendo los estándares, GSM, UMTS y la más reciente, LTE para datos y VoLTE en su presentación de voz sobre LTE, cada usuario cuenta con una estación móvil o teléfono móvil que soporta cada una de las tecnologías para la cual fue diseñado.

2.1.1.3. Red privada

Es una red corporativa orientada a un grupo cerrado de usuarios, generalmente operan a través de una central local automática privada o PBX (Private Branch Exchange, por sus siglas en inglés), y su comunicación hacia el exterior ocurre con permisos y privilegios configurados en la misma PBX.

Cada tipo de red, de las mencionadas anteriormente convergen en un proveedor de servicios que brinda la conectividad hacia otras redes y hacia cualquier parte del mundo, estos proveedores de servicios se les conoce como operadores de telefonía los cuales cumplen la función de núcleo principal dentro de la red.

2.2. Conmutación telefónica

En redes de telefonía, al proceso de interconectar dos usuarios se le da el nombre de conmutación telefónica, los equipos que hacen posible dicho proceso reciben el nombre de nodos de conmutación, y al lugar en donde se encuentran estos equipos se les denomina central de telefonía.

Cada usuario o abonado dentro de la red actúa como receptor/emisor de la señal de voz transmitida, a través de componentes comúnmente llamados terminales, tales como, teléfono análogo e IP, fax, computadores, por mencionar algunos.

En sistemas de conmutación, se define al usuario emisor, número A y al receptor, número B.

Para llevar a cabo el proceso de interconexión fueron desarrolladas técnicas de conmutación utilizando circuitos análogos y posteriormente enlaces digitales, toda la operación lógica y procesos de conmutación ocurren dentro de los nodos principales del sistema que se dividen en dos grandes grupos, conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

2.2.1. Conmutación basada en circuitos

Esta es una técnica de conmutación y reserva un canal de comunicación entre el número A y número B, cuando una comunicación entre ambos es requerida, el número A envía una señal a la central telefónica en donde se encuentra registrado, dicha central verifica la disponibilidad de una canal e indica al número A que puede establecer conexión, solicita toda la información necesaria del número destino o al cual intenta comunicarse.

La central busca dentro de su lógica la ruta para alcanzar el número B, procesando la señal hasta la central de destino, envía un mensaje de solicitud de comunicación del número A al número B, una vez establecida la conexión ambas centrales reservan el canal para uso exclusivo del enlace, por último, el canal es liberado cuando uno de los dos abonados envía la señal a su central de fin de comunicación y este queda en espera de una nueva solicitud.

2.2.2. Conmutación basada en paquetes

En conmutación por paquetes, el ancho de banda es compartido con los usuarios que hacen uso de la misma red, con el pasar de los años se han creado técnicas y reglas para la transmisión de la voz y datos en un mismo medio y ancho de banda, dichas reglas son los llamados protocolos, desde la aparición de internet, el protocolo IP "internet protocol", se ha convertido en el protocolo más aceptado, por su notable adaptación, este es el motivo por el que hoy en día las redes IP se han consolidado dentro de las telecomunicaciones y continúan brindando un importante aporte en servicio de voz.

2.3. Sistemas de conmutación

Los sistemas de conmutación han evolucionado constantemente, haciendo uso de la tecnología disponible de cada época, partiendo de los primeros diseños en donde los abonados se comunicaban gracias a la intervención de un operador humano, quien recibía la llamada del emisor y lo interconectaba físicamente a su destino, por medio de un tablero de interruptores, en donde cada posición en el tablero era un abonado, la llamada se establecía cuando el operador realizaba un puente cableado entre la posición del abonado llamante y el llamado, dicho en otros términos, conectaban físicamente a través de un cable al emisor con el receptor.

Posteriormente, y de la mano de la electrónica analógica, surgieron los primeros diseños de centrales electromecánicas, hasta llegar a lo que hoy día se tiene con sistemas totalmente autónomos y con la inteligencia digital necesaria para llevar a cabo el proceso de conmutación.

Figura 12. **Central telefónica operada manualmente**



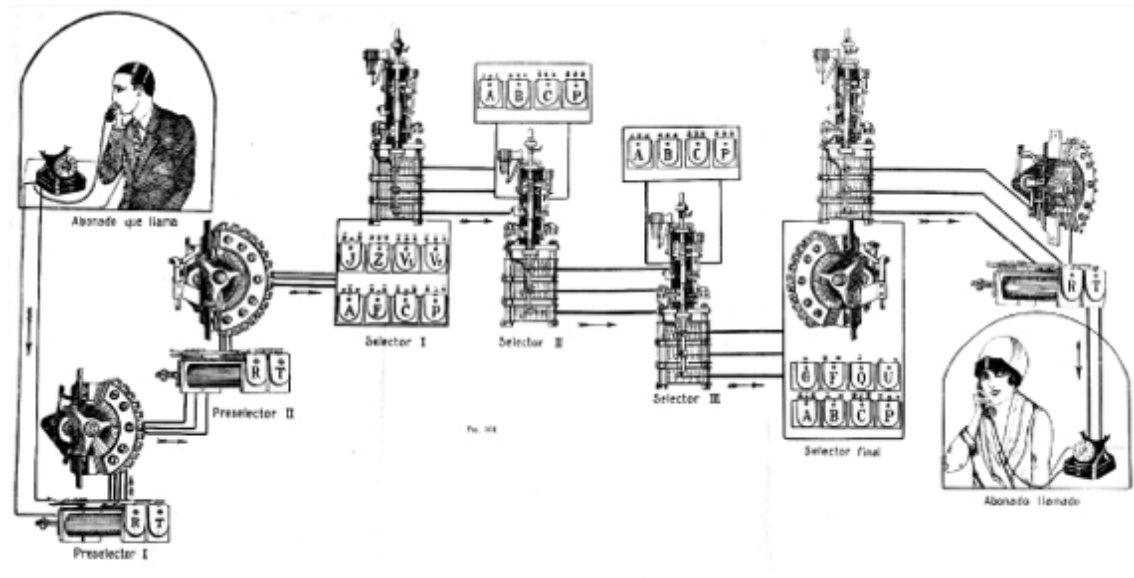
Fuente: <https://historiatelefonía.com/2016/09/14/jacks/>. Consulta: octubre de 2018.

2.3.1. Sistemas mecánicos y electromecánicos

El primer sistema mecánico fue patentado por Almon Broen Strowger, empresario de origen estadounidense, y consistía en un selector que accionaba en base a los dígitos marcados por el usuario, en esta época los teléfonos eran del tipo de marcación rotacional por medio de un disco, que al girar cada número, enviaban las pulsaciones al selector digito a digito hasta completar la marcación, cada selector era parte de un conmutador, por ello recibía el nombre de sistema de conmutación paso a paso o SXS (Step-By-Step, por sus siglas y abreviación en inglés).

Los sistemas electromecánicos muy utilizados fueron los de movimientos rotatorios, siempre a través de contactos mecánicos posicionados en forma circular, estos buscaban dentro de la circunferencia de contactos el abonado llamante y el llamado para luego realizar la conmutación entre ambos, un sistema de este tipo fue diseñado por la compañía Western Electric en 1915.

Figura 13. **Sistema Strowger Siemens&Halske**



Fuente: <https://historiatelefonía.com/2018/11/08/conmutacion-automatica-sistemas-paso-a-paso/>.

Consulta: noviembre de 2018.

Si bien es cierto que estos sistemas fueron los pioneros de las centrales de telefonía eran de grandes dimensiones, cuando operaban causaban gran cantidad de ruido y eran significativamente centrales lentas y de gran costo, con el crecimiento de las redes de telefonía dieron paso a las centrales que operaban electrónicamente.

2.3.2. **Sistemas electrónicos**

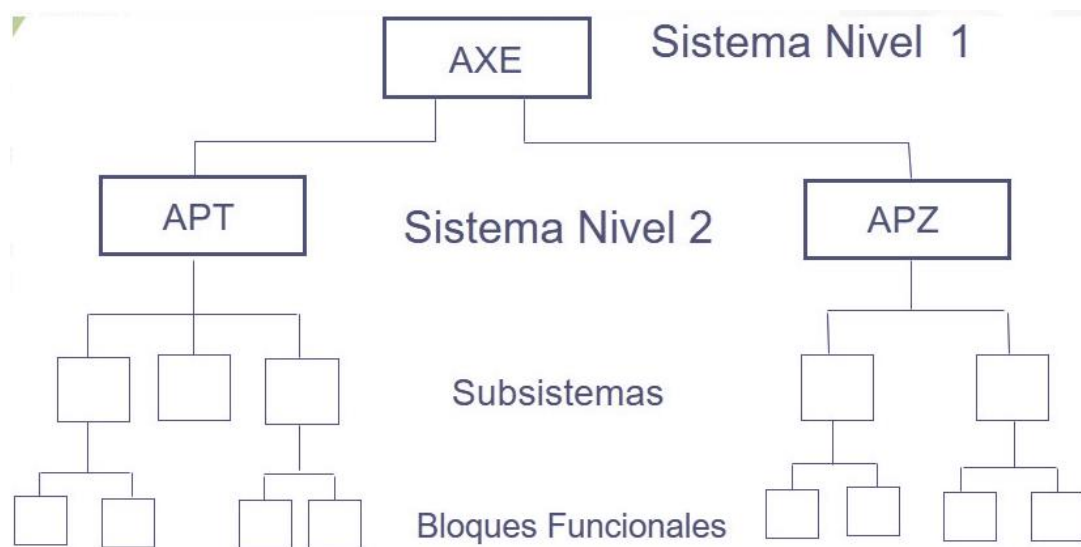
Desde la invención del diodo, la era de la electrónica fue un cambio rotundo para los sistemas informáticos, industriales y en telecomunicaciones a nivel mundial, los sistemas de telefonía basados en electrónica, surgen alrededor de los años sesenta y cubrió las necesidades más notables de los primeros diseños, con sistemas con muchísima más capacidad, con velocidades de respuesta en el orden de los milisegundos y fiables.

Estos sistemas operaban con una unidad de control y una unidad de conmutadores, en principio basados en relevadores magnéticos accionados por impulsos digitales y luego reemplazados por circuitos integrados dentro de tarjetas electrónicas, montados en un sistema controlado por programas basados en algoritmos de conmutación dentro de procesadores centrales, algo muy similar a como opera un ordenador hoy en día, a tal sistema se le denomina control de programa almacenado (SPC, Stored Program Control, por sus siglas en inglés).

2.3.2.1. El sistema digital AXE

Es un sistema desarrollado por la compañía Ericsson, consta de un sistema que depende de una unidad control denominada APZ y una unidad de conmutación denominada APT, cada uno se divide en sub-sistemas para ayudar a cumplir las funciones del sistema al cual pertenecen.

Figura 14. **Arquitectura del sistema AXE**



Fuente: Curso O&M GSM Ericsson, Telefónica Móviles Guatemala S.A.

2.3.2.1.1. Sub-sistema APZ

El sistema APZ se encarga consta de dos procesadores centrales que funcionan uno como activo y el segundo está en modo reposo y entra a funcionar cuando ocurre alguna falla del principal o a solicitud del usuario, son los responsables del análisis de tráfico, facturación, funciones de entrada/salida, y estadísticas, dentro del APZ ocurren los procesos necesarios para el control del sistema APT.

2.3.2.1.2. Sub-sistema APT

Dentro del sistema APT está el manejo del tráfico, brinda la conmutación lógica de las llamadas dentro del sistema a solicitud de los programas que se ejecutan dentro del APZ, contiene la conectividad y conversión análoga digital del mundo exterior hacia el sistema.

Un sistema AXE es un sistema que trabaja de forma ordenada en base a bloques y sub-sistemas asociados entre sí para brindar toda la operación e interfaces hombre-máquina necesaria para la implementación de una central de telefonía. Este es uno de los sistemas más utilizados en telefonía ha ido cambiando y evolucionando en hardware y software.

2.3.3. Red de siguiente generación

Dentro del grupo de sistemas electrónicos digitales, la tecnología de red de siguiente generación o red de próxima generación (NGN, Next Generation Networking, por sus siglas en inglés), es una tecnología orientada a la convergencia de servicios multimedia, voz principalmente, a través de conmutación basada en paquetes y protocolos IP.

2.3.3.1. Arquitectura de red NGN

NGN dentro de su estructura, interconecta diferentes elementos de red, dependiente del servicio que brindará, cada elemento de red se interconecta por medio de interfaces y protocolos hacia el núcleo de la red.

La interfaz es la conectividad entre dos elementos de red adyacentes y el protocolo es el conjunto de reglas y normas que se deben de cumplir para establecer el enlace. Para ello existe toda una familia de interfaces y protocolos disponibles.

2.3.3.1.1. El Softswitch

En el núcleo principal de la red NGN se encuentra el elemento principal conocido como Softswitch, provee todo el control de llamadas y demás servicios disponibles voz, video y datos, se interconecta con los demás elementos en la red utilizando protocolos de transporte, señalización y aplicación.

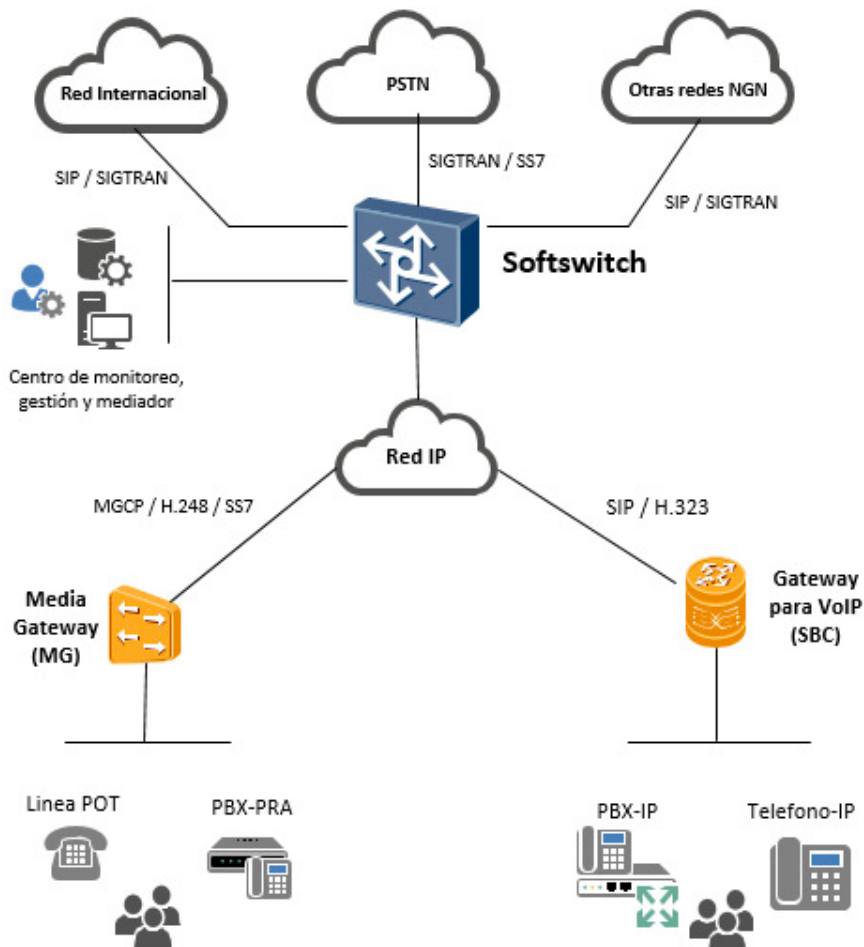
2.3.3.1.2. Gateway

Encargado de la interconexión entre redes de distintas arquitecturas, cumple la función de acoplar diferentes tipos de tecnologías hacia el softswitch los más comunes son:

- Gateway Controller, maneja todo el procesamiento y control del tráfico dentro del softswitch, se comunica con los demás elementos de la red a través del Media Gateway y Signaling Gateway.

- Media Gateway, orientado a el transporte de los paquetes de voz, tiene dentro de sus funcionalidades la codificación y decodificación de dichos paquetes provenientes de la PSTN, es un intermediario entre la red de acceso y el softswitch.
- Signaling Gateway, es el encargado del manejo de toda la parte de señalización en protocolo SS7 dentro de la red.

Figura 15. **Arquitectura NGN**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

2.3.3.1.3. Protocolos en NGN

Dependiendo de la interfaz, Gateway y tecnología a la cual se interconecta el softswitch, se utiliza el siguiente grupo y familias de protocolos:

- SIGTRAN, conjunto de protocolos de transmisión y adaptación, está orientado al transporte de la señalización, brinda la conectividad entre el Signaling Gateway (SG), y un Media Gateway Control (MGC), utiliza como protocolo de transporte M3UA/M2UA/SCTP/IP
- H248, también conocido como MeGaCo, es un protocolo de control que brinda la conectividad entre un Media Gateway Control (MGC) y un Media Gateway (MG), utiliza como protocolo de transporte UDP/IP.
- MGCP, es un protocolo de control, brinda el control y procesamiento de las llamadas dentro de un media gateway, utiliza como protocolo de transporte UDP/IP.
- SIP, orientado para el establecimiento de sesiones multimedia, más adelante se dará un enfoque completo a este protocolo, utiliza como protocolo de transporte UDP/IP.
- H.323, orientado al control de llamadas en multimedia, utiliza como protocolo de transporte TCP/UDP/IP.
- SS7, conjunto de protocolos para el establecimiento señalización entre redes de telefonía, está orientado al establecimiento y finalización de llamadas.

2.4. Medios de transmisión en telefonía

Los medios de transmisión forman el canal de comunicación entre los abonados de la red y la central telefónica, se encargan del transporte de la señal eléctrica generada por los teléfonos a través de un medio análogo o digital, con la menor cantidad de pérdidas y distorsión ocasionadas por ruido eléctrico o bien fenómenos atmosféricos.

Se emplean medios de transmisión cableados, por radiofrecuencia y enlaces satelitales, los más comúnmente utilizados son los medios cableados debido a su bajo costo en comparación con los otros dos, los enlaces por radiofrecuencia están más orientados a la interconexión entre nodos y centrales de telefonía, en cuanto a los enlaces satelitales, se emplea en interconexiones entre operadores a larga distancia, entre países o continentes, aunque en la actualidad ha tenido gran aporte en servicios de televisión digital domiciliar.

2.4.1. Medios cableados

Se define un cable como un conductor de material cobre o fibra óptica agrupados dentro de aislamiento de distintos materiales (Polietileno, Estano, Aluminio), que lo protege del exterior.

2.4.1.1. Cableados de cobre

En este tipo de cableado los conductores van agrupados y entrelazados entre sí, y se le denomina par de cobre. Este tipo de cableado se emplea para la red en planta externa desde el nodo de telecomunicaciones, pasando por posteo urbano hasta llegar a la acometida de cada usuario.

El cableado que sale del nodo principal, está construido de múltiples pares de cobre, dependiendo de la necesidad de distribución de cada metrópoli, a este tipo de cableado se le denomina cable multipar, mientras que el cable que ingresa a la acometida de cada usuario, es un único par de cobre y se le denomina bucle de abonado o simplemente abonado de cobre, para la derivación del cable multipar al bucle de abonado se emplean cajas instaladas sobre los postes de la metrópoli, cada caja cuenta con conectores que derivan el par de cobre a cada usuario.

En este tipo de cableados su principal desventaja es la humedad, porque causa corrosión en los empalmes y conectores de la red, esto induce ruido en la señal telefónica y la experiencia de un mal servicio para el usuario, es mucho más eficiente y de mayor capacidad la fibra óptica.

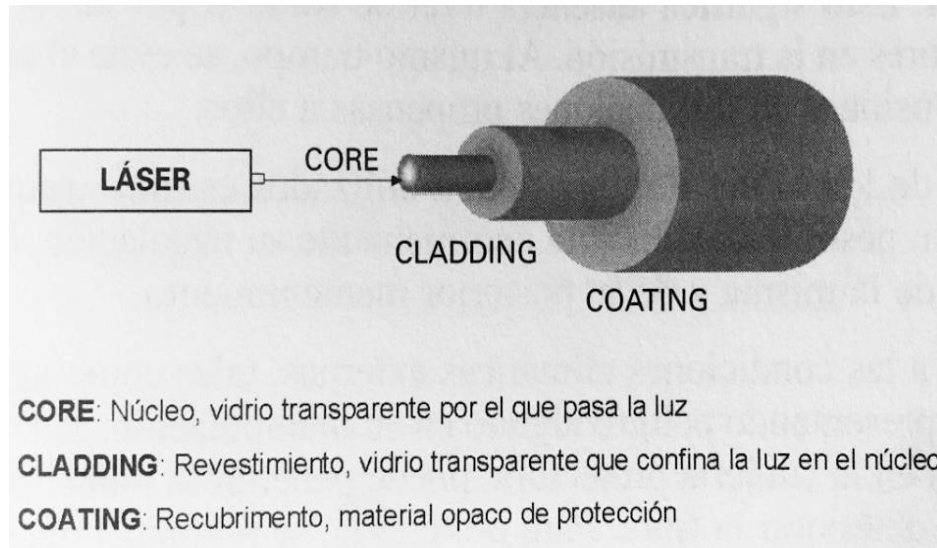
2.4.1.2. Fibra óptica

La fibra óptica es una guía de onda cilíndrica de vidrio, que tiene como objetivo el transporte de un haz de luz, se basa en el fenómeno físico de la reflexión y la refracción de la luz.

2.4.1.2.1. Estructura de la fibra óptica

La fibra óptica se compone de un elemento central denominado núcleo, por el cual se propaga la luz, en el exterior del núcleo se encuentra un revestimiento con un índice de refracción distinto para lograr que el haz de luz se refleje en él, logrando que la luz viaje en línea recta y cambie de sentido cada vez que se refleja en las paredes del núcleo, existen dos tipos fundamentales de fibras ópticas, multimodo y monodo.

Figura 16. **Estructura de la fibra óptica**



Fuente: HUIDORO MOYA, José Manuel y CONES PASTOR, Rafael. Sistemas de telefonía. p. 121.

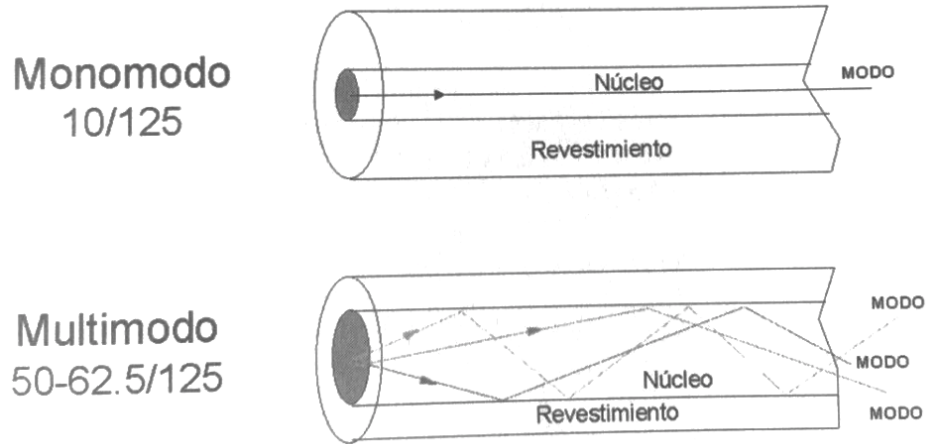
2.4.1.2.2. Fibra multimodo

Se definen un modo como el impulso de luz que se transmite a través de la fibra óptica, la fibra que transporta un impulso o modo por vez se le denomina fibra monomodo, suelen tener un diámetro en su núcleo de $1\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$ y un revestimiento del orden de los $125\mu\text{m}$.

2.4.1.2.3. Fibra monomodo

Cuando un modo se descompone en múltiples fases y se propagan a través de la fibra óptica, generando un haz de luz por cada impulso, la fibra óptica se le da el nombre de fibra multimodo, su núcleo cuenta con un diámetro comprendido entre los $50\mu\text{m}$ y $62,5\mu\text{m}$ y un revestimiento de $125\mu\text{m}$.

Figura 17. **Fibra monomodo y multimodo**



Fuente: HUIDORO MOYA, José Manuel y CONES PASTOR, Rafael.

Sistemas de telefonía. p. 123.

2.4.1.2.4. Ventajas de la fibra óptica

La fibra óptica ofrece grandes ventajas en comparación al cobre, principalmente porque transmite fotones (La luz está compuesta por fotones), en lugar de electrones, y la transmisión no se ve afectada por interferencia electromagnética, eso disminuye el ruido y por ende errores en la transmisión a causa de la fibra óptica, básicamente las pérdidas se dan por los emisores o receptores del haz de luz, conectores, fusiones de cada punto de empalme en la fibra, pero no propiamente por el canal de la fibra óptica

Las propiedades de propagación de la luz, la hace un medio para el transporte de canales de alta capacidad en ancho de banda y velocidad de transmisión.

2.4.2. Medios por radiofrecuencia

Los medios de transmisión por radiofrecuencia se basan en los fundamentos de radiación de ondas electromagnéticas, desde las leyes de Maxwell y los fundamentos de la propagación de las ondas en el medio.

Básicamente transmiten señales de campo eléctrico y magnético a través del aire, utilizan equipos de microondas para modular, amplificar y enviar las señales en la frecuencia deseada a través de antenas diseñadas igual a la longitud de onda de la señal transmitida, cabe recordar que la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia, esto en el espacio vacío:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ m}$$

con c = velocidad de la luz, f = frecuencia a transmitir

Debido a ello, las dimensiones de la antena necesaria para montar el radioenlace, será más grande entre más baja sea la frecuencia, y más pequeña entre más alta sea la frecuencia de la señal transmitida.

Los radioenlaces están compuestos por un equipo emisor, antenas, medio (el aire), y un receptor, tanto en el emisor como en el receptor están contenidos los equipos de modulación, multiplexación y amplificación.

El enlace puede ser terrestre si las condiciones del enlace están situadas en la tierra, o espacial si ocurre en la órbita terrestre, en este último están los satélites, dependiendo de del tipo de modulación y multiplexación, se definen dos tipos de radioenlaces, análogos y digitales.

2.4.2.1. Radioenlaces análogos

Emplean moduladores por frecuencia (FM. Frequency Modulation, por sus siglas en inglés), y multiplexación por división de frecuencia (FDM, Frequency Division Multiplexion, por sus siglas en inglés). El motivo por el cual se utilizan sistemas de modulación en frecuencia es debido al ruido, el ruido modula en amplitud las señales transmitidas, pero no así la frecuencia, por ello a menudo se encuentran sistemas FM en radioenlaces análogos, orientados a la transmisión de voz únicamente.

2.4.2.2. Radioenlaces digitales

Orientados a la transmisión de voz, video y datos, emplean técnicas de modulación y multiplexación digitales, inicialmente se empleaba modulación por división de tiempo (TDM, Time Division Multiplexing, por sus siglas en inglés), posteriormente fueron desarrolladas tecnologías de transporte digitales que operaban de forma de secuencial y de forma jerárquica, para ello, los sistemas necesitan de cierto tipo de sincronismo para llevar a cabo la transmisión de datos.

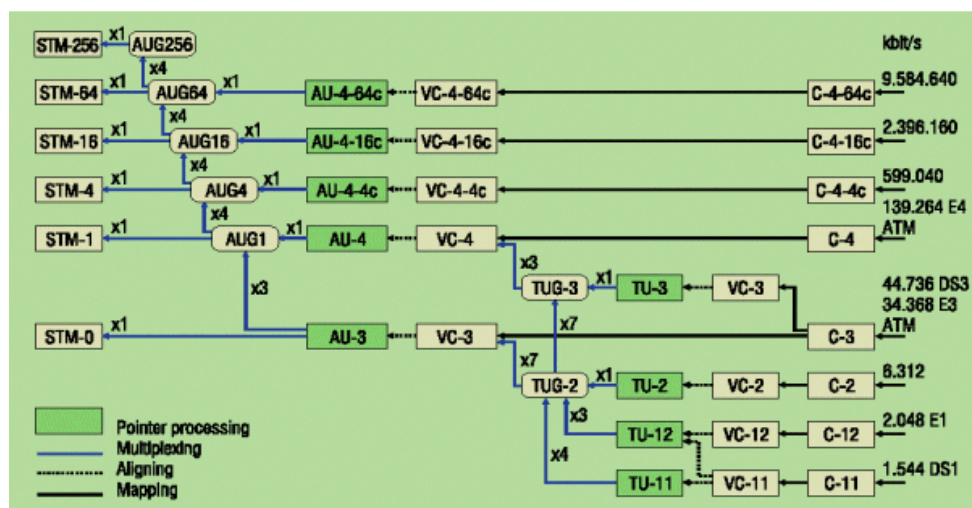
A la tecnología que utiliza sistemas que tenían un reloj de sincronismo independiente en cada equipo de multiplexación, se definió como Jerarquía Digital Plesiocrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy), por su parte, los sistemas que compartían una señal de reloj en toda su jerarquía, fueron definidos como Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy).

En tecnología PDH el canal de transmisión más bajo es de una tasa de transferencia de 2Mbps y se conoce como E1, este consta de 32 canales de voz de 64Kbps, el E1 es multiplexado en varios niveles llamadas tributarios para formar el sistema PDH.

En tecnología SDH, de igual forma el canal de comunicación más bajo es el E1, este es multiplexado dentro de contenedores virtuales, formando el primer nivel de multiplexado en SDH llamado el primer grupo STM-1, la multiplexación pasa a sus siguientes niveles hasta formar un STM-256, la estructura STM-1 se compone de los siguientes bloques:

- STM-1=155Mbit/s
- STM-4=622Mbit/s
- STM-16=2.Gbit/s
- STM-64=10Gbit/s
- STM-256=40Gbit/s

Figura 18. Jerarquía SDH



Fuente: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/28327-sdh-28327.html. Consulta enero de 2019.

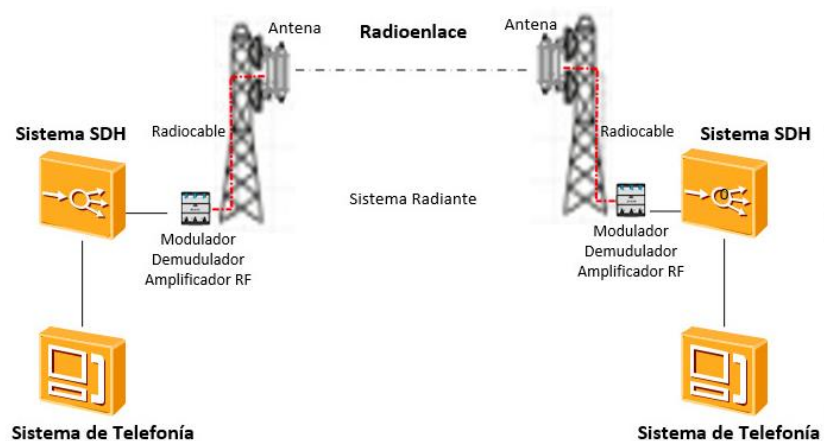
La principal desventaja que afrontan los sistemas radiantes, son las condiciones climáticas, tormentas eléctricas en especial, por la actividad eléctrica del ambiente que desvanecen las señales electromagnéticas transmitidas, esto ocasiona pérdidas, lentitud en el enlace.

Por último, en un sistema radiante comúnmente emplea modulación de amplitud en cuadratura (QAM, Quadature Amplitud Modulation), es una técnica de modulación con funcionalidad para poder transportar señales moduladas, desfasadas y con amplitud distinta una de la otra.

En su representación digital, QAM Digital, distribuye los bits de entrada en un cuadrante de N estados de modulación, donde $N = 2^n$, con n como el número de bits en la entrada del sistema por vez.

De allí que existan sistemas del tipo N-QAM, por ejemplo 16-QAM será un sistema de un cuadrante de 16 estados con 4 bits de entrada por vez, cada vez que ingrese un grupo de 4 bits al sistema QAM, cambia la fase y amplitud de la portadora. Los sistemas más conocidos en sistemas radiantes son 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM.

Figura 19. Sistema radiante



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3. TELEFONIA IP

Los términos telefonía IP y VoIP (Voice over IP, por sus siglas en inglés), en muchas ocasiones suelen utilizarse para hacer referencia a lo mismo, comunicación de voz a través de un medio IP, sin embargo, son dos conceptos totalmente distintos.

La telefonía IP es la utilización de una red IP para la transmisión de la voz, videoconferencias, mensajería de voz y fax. Dicha red puede ser privada o bien publica como en el caso del internet, privada porque a través de un proveedor de servicios y una red WAN, una empresa puede hacer uso de llamadas internas dentro de su corporativo y hacia el exterior, o bien a través de redes LAN dentro de su misma empresa.

VoIP por el contrario es la tecnología usada para el desarrollo y funcionamiento de la telefonía IP, en VoIP conviven toda la gama de protocolos IP, se da la transformación de paquetes entre las distintas capas del modelo OSI, entre otros.

3.1. Voz sobre IP

La voz sobre IP se implementó originalmente para reducir el ancho de banda utilizado por el proceso de digitalización de la voz convencional, que es necesario para el transporte sobre redes de conmutación de circuitos, tomando como referencia los procesos de compresión de la voz diseñados para telefonía celular de los años 80's, se lograron reducir los costos del transporte, para luego extenderse sobre redes LAN y finalmente la internet.

La utilización de sistemas de VoIP en redes LAN e internet, en su mayoría, dio paso a la utilización de las computadoras personales como terminales telefónicas, con la adición de un auricular y un software diseñado para simular una terminal convencional. En principio, los proveedores tanto de telefonía convencional como diseñadores de PBX empezaron a apostar por la migración hacia VoIP, cada uno con diseños y topologías propias.

La utilización de VoIP es cada vez más popular entre empresas porque no solo ofrece el transporte de la voz, sino además implementa servicios de la telefonía común, por mencionar algunos:

- Marcación por tonos
- Envío y recepción de fax
- Llamada en espera
- Desvío de llamada
- Transferencia de llamada
- Conferencia
- Identificador de llamada

Otra característica de las empresas es contar con su propia red de datos, ya sea de comunicación de datos corporativos, conectividad a internet o ambas, dando como resultado dos redes independientes una para comunicarse telefónicamente y otra para datos, el mantenimiento y administración de dos tipos de redes en distintas tecnologías resulta algo caro e innecesario, si se puede optar por una única red que soporte ambos servicios, y la telefonía IP proporciona un camino para la comunicación entre empresas en un medio compartido IP.

3.1.1. VoIP y telefonía convencional

La principal diferencia entre VoIP y la telefonía convencional es la digitalización y compresión de la señal de la voz y su posterior transporte en una red de datos, inclusive diferentes paquetes pueden viajar por el mismo medio IP a un mismo destino y al mismo tiempo, mientras que una llamada normal requiere una gran cantidad de centrales telefónicas conectadas entre sí, estableciendo una conexión permanente entre ambos interlocutores.

3.2. Funcionamiento de VoIP

Cuando se realiza una llamada en VoIP, la voz es digitalizada por medio de conversores análogo a digital, para luego ser codificada y enviada por la red de datos en forma de paquetes comprimidos en protocolo IP, al llegar los paquetes a su destino, ocurre el proceso inverso, las tramas digitales son descomprimidas, decodificadas y convertidas de digital a la señal de voz originada en el emisor.

Los principales elementos de una red VoIP que intervienen en el proceso anterior son:

- Codificadores
- Protocolos
- Terminales (Teléfonos IP)
- Puertas de enlace

Es evidente que durante el proceso de conversión de la voz de un formato análogo a digital y viceversa y sumado a los procesos de codificación y decodificación, la voz digital se vuelve vulnerable a pérdidas de información, perdidas de audio en un sentido, del emisor al receptor o viceversa.

Los elementos principales dentro de la red que velan por el buen funcionamiento de este proceso son los codificadores, el enrutamiento IP, como elemento adicional, y que sirve para optimizar el desempeño de la red, calidad de servicio o QOS (Quality Of Service, por sus siglas en ingles).

3.3. Codificadores

Llamados códec, que es un acrónimo de codificador-decodificador o del inglés *coder-decoder*. Están presentes en la red tanto en hardware como software y su principal función es la de convertir la señal análoga a digital en base a un algoritmo.

Existe toda una familia de códec disponibles, cada uno de ellos con sus características de ancho de banda, tiempo de compresión y calidad de servicio, un códec a menudo realiza también la funcionalidad de compresión esto con la finalidad de ahorrar ancho de banda. Entre los códec para Voip más comunes se encuentran:

- G711, es considerado uno del códec más antiguo, fue lanzado en el año 1972 por la ITU, está orientado a trabajar en un entorno de redes de área local, LAN, utiliza un sistema de modulación PCM, con una velocidad de transmisión de 64 kbps, fueron desarrolladas dos versiones: A-law, U-law, trabajan con una forma de muestreo logarítmica, en el caso de A-law es un estándar utilizado para Norteamérica y Japón, mientras que U-law está presente en el resto del mundo.

- G722, es otro de los códec de audio desarrollado por la ITU, en el año de 1988, utiliza una técnica de modulación que divide la señal a muestrear, previo a digitalizar, en dos bandas de frecuencia, cada sub-banda es pasada por un proceso de digitalización, es decir muestreo, cuantificación y codificación, el decodificador realiza el proceso inverso, dicha técnica es llamada SB-ADPCM (Sub-band Adaptive Differential PCM), opera en velocidades de transmisión en el orden de los 48, 56 y 64 Kbps.
- G723.1, desarrollado por la ITU en el año de 2006, opera con una velocidad de transmisión de 5.3 y 6.3 Kbps, se basa en un modelo de cuantificación por multipulso de máxima probabilidad, definido como MPMLQ (Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantizacion, por sus siglas en ingles) y en un modelo de compresión que utiliza predicción lineal por análisis algebraico, ACELP (Algebraic Code Excited Linear Predictive, por sus siglas en inglés), es de baja velocidad de transmisión.
- G726, es otro codec desarrollado por la ITU, utiliza un sistema de emulación basado en ADPCM, está orientado a la red de telefonía pública PSTN, posee una tasa de transferencia de 16, 24, 32 o 40 Kbps, sin embargo, la velocidad por defecto es de 32 Kbps.
- G728, utiliza un sistema de codificación llamado LD-CELP (Low Delay Codebook Excited Linear Prediction, por sus siglas en inglés), con una tasa de transferencia de 16 Kbps.
- G729, desarrollado y lanzado por la ITU en 1990, orientado a trabajar en redes de área local, utiliza técnica de modulación CS-ACELP (Conjugate Structure ACELP, por sus siglas en inglés).

G729 utiliza un algoritmo muy complejo y demanda más recursos de memoria y CPU para operar, por lo que fue lanzada una versión más ligera, el G729.a, este último fue altamente aceptado y utilizado comercialmente para VoIP.

3.4. El Estándar H.323

Desarrollado por la ITU en 1996 para la comunicación de servicios multimedia en tiempo real y bidireccional, es el estándar que ayudó a los fabricantes y proveedores de servicios, a encontrar la convergencia y la compatibilidad entre diferentes tecnologías de telefonía IP.

De esta forma, H.323 definió las recomendaciones para la implementación de VoIP en redes de datos, logrando establecer la arquitectura necesaria para el buen funcionamiento de la VoIP, basado en tres elementos principales: Terminales, puertas de enlaces y controladores de acceso.

3.4.1. Terminales

Es nombrado así, a todo dispositivo de red que el usuario utiliza para el envío de voz, video o datos, en tiempo real y bidireccional de un extremo a otro, aunque es común que se utilice con mayor frecuencia la voz.

En principio existen dos tipos de terminales, los diseñados por hardware y los diseñados por software, dentro del primer grupo son los teléfonos IP muy conocidos y cuentan con una apariencia similar a los teléfonos convencionales, la diferencia entre un teléfono convencional y un IP es el medio de conexión a la red.

Figura 20. **Teléfonos IP**



Fuente: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7800-series/index.html>. Consulta: diciembre de 2018.

El segundo grupo son los terminales basados en software, estos operan dentro de un ordenador y es el fabricante del software el encargado de la programación y ambiente de la interfaz que el usuario ve en su pantalla, lo único que el usuario necesitará será un auricular y prácticamente su ordenador operará como un teléfono IP, la combinación entre un software y un ordenador comúnmente se le da el nombre de softphone, inclusive existen aplicaciones para teléfonos móviles, que cuentan con el desarrollo para que funcione como un teléfono IP.

Figura 21. **Softphone's**



Fuente: <https://www.counterpath.com/x-lite/>. Consulta diciembre de 2018.

3.4.2. Puerta de enlace (Gateway)

Comúnmente llamado Gateway, es un elemento de red que proporciona la interfaz entre la red VoIP y la PSTN, es un intermediario entre dos tecnologías distintas de voz.

Su principal función es la conversión y adaptación de paquetes VoIP, provenientes de la red de datos, hacia servicios E1-TDM 2048 Mbps, servicios con interfaces V.5 para servicios de líneas domiciliarias e inclusive servir como pasarela hacia otras redes PSTN.

3.5. El SBC

Un controlador de borde de sesiones o SBC (Session Border Controller, por sus siglas en inglés), es un dispositivo que puede ser catalogado como un Gateway, debido a que es común que opere entre la red de un proveedor de servicios y sus usuarios, sin embargo, también se puede encontrar entre redes de distintos operadores o entre redes de empresas corporativas.

Está dedicado para el control de la señalización y media de las llamadas de VoIP, dentro de sus principales funciones están:

- Funciona como un cortafuego (firewall, por su terminología en inglés), para el tráfico multimedia, brindando la seguridad contra ataques cibernéticos o fraude telefónico. Cualquier elemento conectado a redes IP es propenso a sufrir ataques, un SBC protege la red interna del mundo exterior.

- Posee la funcionalidad de realizar traducción de direcciones de red, o NAT (Network Address Translation, por sus siglas en inglés), que no es más que la conversión en tiempo real, de direcciones IP utilizadas por los usuarios de la red hacia la red de telefonía convencional.
- Posee la inteligencia para poder enrutar los paquetes IP dentro de la red, y el manejo de listas de acceso.
- La comunicación con la red de telefonía convencional, la realiza por medio de protocolo H.323 y SIP, basado en troncales IP
- Un troncal IP sirve para la comunicación y transporte de información desde el conmutador hacia el SBC por medio de protocolo H.323 y SIP, es un canal de comunicación virtual entre estos dos elementos de red, en tecnología NGN, sería un canal de comunicación entre el *softswitch* y el SBC.

3.6. Protocolo SIP

SIP (Session Initiation Protocol, por sus siglas en inglés), desarrollado por el IETF (Internet Engineering Task Force, por sus siglas en inglés), es un protocolo orientado a la VoIP, creado para la inicialización, sostenibilidad y finalización de sesiones multimedia, utiliza protocolo de transporte UDP o TCP, ambos sobre puerto 5060.

Sus mensajes son de tipo texto con un encabezado y un contenido dentro del cual se encuentran direcciones en formato URL (Uniform Resource Locator).

Las fases de comunicación para lograr establecer y finalizar sesiones multimedia son las siguientes:

- *User Location*, determina el sistema a utilizar para la comunicación
- *User Capabilities*, determina los parámetros de media que se utilizarán
- *User Availability*, determina la disponibilidad del número llamado
- *Call Setup*, envía un tono de llamada al número llamado y establece los parámetros necesarios para establecer comunicación en ambos extremos.
- *Call Holding & Control*, determina la transferencia y terminación de la llamada.

3.6.1. Arquitectura SIP

En SIP se han definido dos elementos principales en su arquitectura: el agente y el servidor, el agente es el usuario final dentro del sistema, es quien inicia y finaliza el proceso de llamada en SIP.

Por su parte el servidor es el elemento de red que controla la señalización y proporciona toda la resolución de las fases de comunicación SIP, antes mencionadas.

Están definidos dos tipos de mensaje: *Request* y *Response*, el primero es generado desde el agente al servidor y el segundo es un mensaje de respuesta al primero.

Dentro de los mensajes *Request* se encuentran los siguientes:

- *Invite*, es el mensaje de presentación para iniciar la conexión
- *Register*, es emitido como una solicitud de localización al server

- *Bye*, es un mensaje que indica el fin de una llamada
- *ACK*, es enviado para indicar que el mensaje Invite puede aceptarse
- *Cancel*, finaliza la localización de un agente o servidor

Dentro de los mensajes *Response* existe toda una familia de categorías, este tipo de mensaje es enviado desde el servidor al agente y tienen como objetivo indicar al agente el estado de su solicitud, de forma resumida y agrupados por rango estos mensajes son:

- 1XX - Brindan información de timbrado, intentos, estado de la sesión
- 2XX - Indican que un proceso fue exitoso
- 3XX - Para establecer el redireccionamiento de la llamada
- 4XX - Establece un error originado por el agente
- 5XX - Establece que un error ocurrió dentro del server
- 6XX – Establece un error global en el sistema

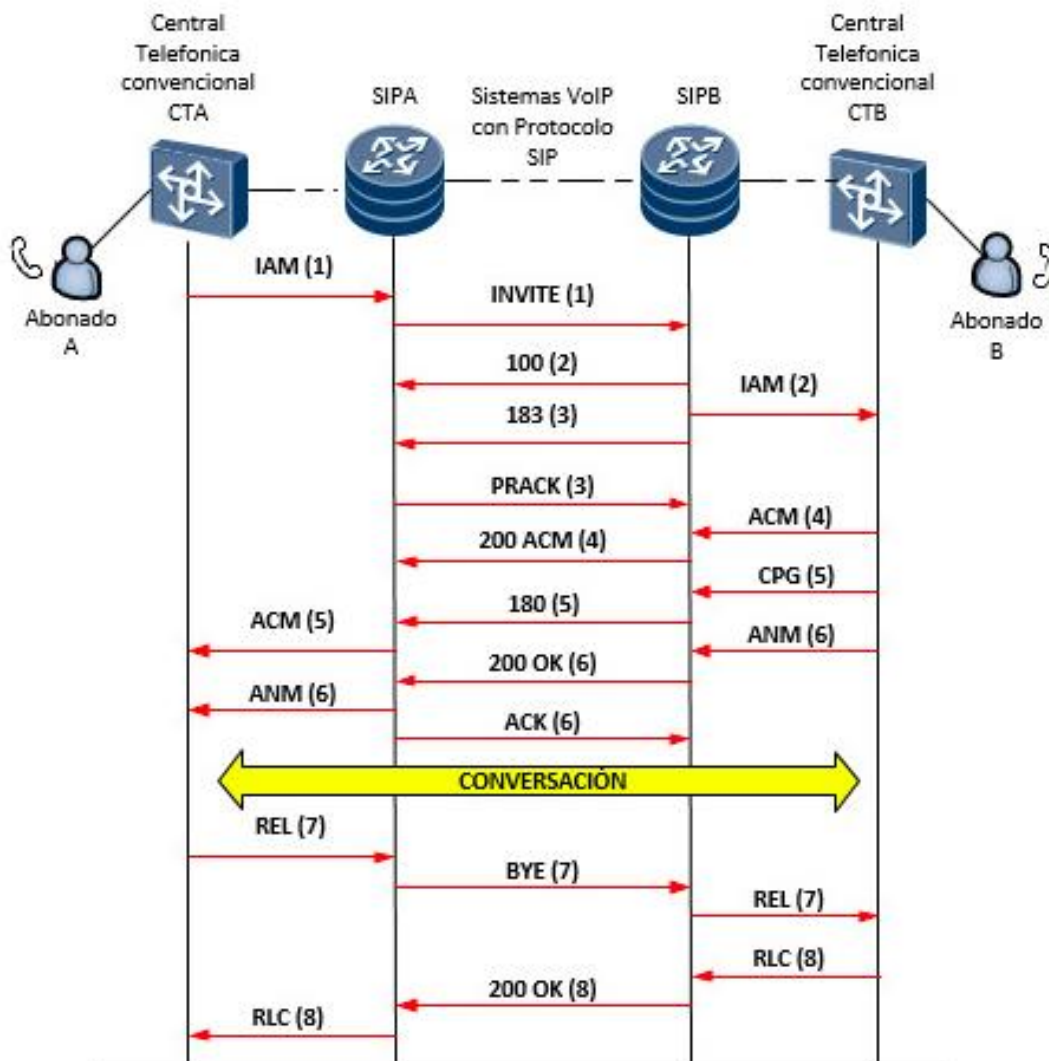
3.6.2. Flujo de mensajes en una llamada SIP

En el sistema de la figura 22, contempla dos redes de telefonía convencional o PSTN, que interactúan por medio de un sistema de comunicación por protocolo SIP.

El escenario se da cuando un usuario registrado en la red “CTA” llama a un usuario dentro de la red “CTB”, el único flujo en protocolo SIP se da entre los sistemas “SIPA” y “SIPB” los restantes flujos de mensaje son en protocolo ISUP.

En el modelo, el abonado “A” registrado en “CTA” inicia la llamada y la red genera un mensaje de presentación IAM hacia “SIPA” el mensaje contiene el número llamante y el llamado y los formatos de marcación necesarios para que el sistema “SIPA” localice el número llamado.

Figura 22. Flujo de una llamada SIP



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

- (1) "SIPA" reconoce el número llamado dentro de su análisis de dígitos, e inicia un mensaje de presentación en protocolo SIP, *INVITE*.
- (2) "SIPB" recibe el mensaje *INVITE* y contesta con un mensaje 100 (Trying), dentro de su sistema de análisis de dígitos reconoce el número llamado "B" y envía un mensaje en protocolo *ISUP IAM*, hacia la red "CTB".
- (3) "SIPB" envía posteriormente un mensaje 183 (*session in progress*) y el sistema "SIPA" genera un mensaje *PRACK*, que no es más que un reconocimiento a cualquier diálogo en respuesta a un mensaje del rango 1XX.
- (4) La red "CTB", luego de procesar el mensaje *IAM* recibido de "SIPB", el cual contiene el número de "B" llamado, al ubicarlo como propio genera un mensaje *ACM*, reconociendo la llamada, y por su parte, el sistema "SIPB" envía un mensaje 200 (*ACM*) hacia su el sistema "SIPA".
- (5) Los sistemas reconocen el número llamado como válido, se establece la sesión SIP y se da el timbrado, en el sistema SIP genera un mensaje 180 (*Ringling*), "SIPB" recibe un mensaje *CPG* para indicar que el abonado B está timbrando, este mensaje es comunicado a la red "SIPA" por medio de un mensaje 180 (*Ringling*) desde la red "SIPB" quien a su vez notifica al sistema "CTA" a través de un mensaje *ACM*.
- (6) Al responder el abonado "B" la llamada, la red "CTB" genera un mensaje *ANM*, y es comunicado a la red "CTA" a través del sistema SIP quien genera un mensaje 200 *OK*, por su parte el sistema "SIPA" responde con un acuse de recibido, mensaje *ACK*.

- (7) En este punto ocurre el periodo de conversación entre los abonados “A” y “B”, hasta que el abonado “A” libera la llamada y genera un mensaje *REL* de la red “CTA” y es comunicado a la red “CTB” a través de un mensaje de finalización *BYE* en el sistema SIP.
- (8) El proceso se completa cuando la red “CTB” libera los recursos utilizados en la llamada, generando un mensaje *RLC* que es comunicado a la red “CTA” a través de un mensaje 200 *OK* del sistema SIP.

4. DISEÑO PARA LA REDUNDANCIA DE TRÁFICO VOIP EN TRONCALES DIGITALES

4.1. Sistemas redundantes

La mayoría de sistemas e interconexiones en telecomunicaciones, cuenta con un enlace principal y al menos un segundo enlace listo para entrar a funcionar en caso principal falle, a este modelo de operación se le conoce como sistemas redundantes o con protección, dependiendo de la importancia del tráfico que manejen estos pueden contar hasta con dos sistemas de protección y un principal.

El concepto de redundancia no es más que dos o más sistemas diseñados para operar uno en modo activo y los restantes en modo pasivo, y cambiarán su estado al ser requerido de forma manual o de forma automática.

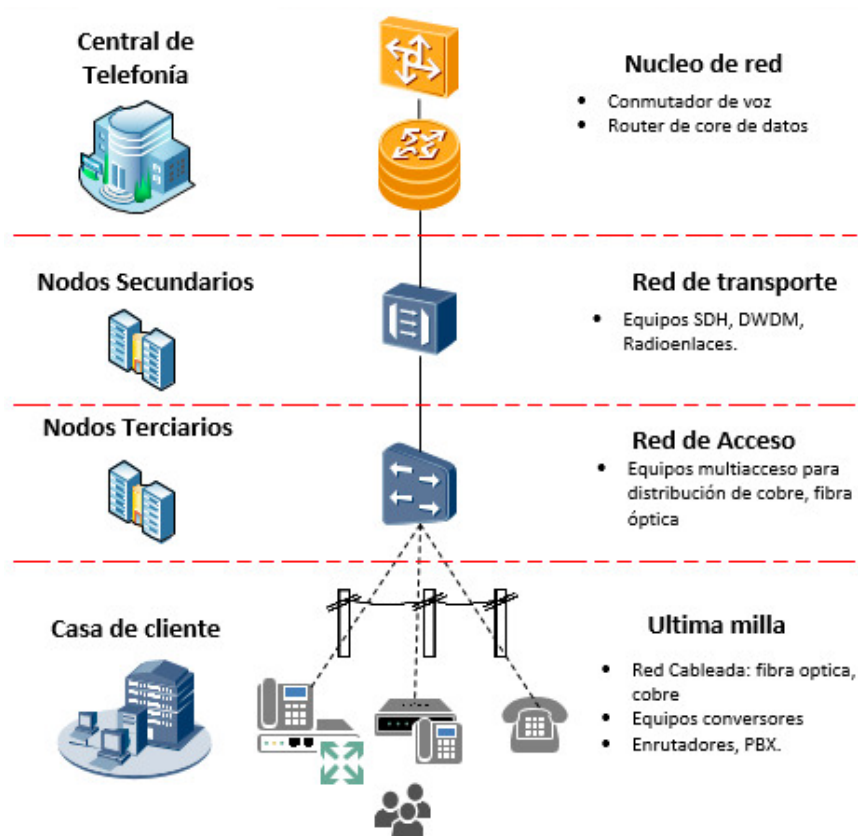
El principal objetivo es mantener los índices de disponibilidad de la red, lo más cercanos al 100 %, para lograrlo se diseña la red con enlaces redundantes en los puntos más importantes, con alta criticidad en caso de falla o puntos vulnerables.

4.2. Red de servicios

La red puede ser dividida en 4 niveles, requieren de especial atención en cuanto a su protección, estos niveles se definen como: núcleo de red, red de transporte, red de acceso, y última milla.

En la figura 23 se aprecia la arquitectura para una red de servicios, en ella están contenidos los elementos de red para lograr la conectividad desde los equipos en casa de cliente, hacia los nodos principales en el núcleo de la red, pasando por elementos de transporte.

Figura 23. **Red de servicios en telefonía**



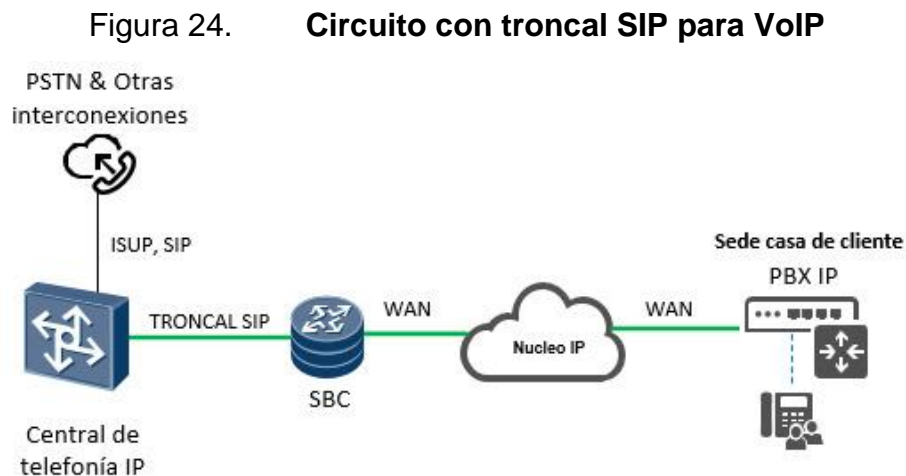
Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Los equipos contenidos en los primeros niveles, el núcleo de la red, son los equipos con mayor índice de criticidad y cuentan con protección en su hardware, energización y en algunos casos redundancia geográfica, es decir, un segundo equipo geográficamente localizado en otro punto, que contiene la misma base de datos y operación que su principal, y están en modo reposo y disponibles en caso de alguna falla.

4.3. Circuito para VoIP con troncal SIP y su redundancia

Del modelo preliminar, el elemento central, en lo que respecta a telefonía IP, es el conmutador de voz, de él se deriva la conectividad IP hacia los elementos en casa del cliente, pasando a través del núcleo de datos, estos dos elementos de red son administrados por el proveedor de servicios.

El circuito será como el de la figura 24, y servirá como base para diseñar la redundancia de tráfico en servicios de telefonía VoIP por medio de un troncal digital SIP.



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

4.3.1. Elementos que componen el circuito

Los tres elementos de red más importantes en el diseño son: la central de telefonía IP, el troncal SIP, y el SBC, siendo un servicio de conectividad puramente IP, los restantes elementos de red son propiamente enrutadores, tanto dentro de la red del cliente como en el núcleo IP.

La función de estos elementos es brindar la conectividad de la central telefónica hacia la PBX IP, el diseño para la redundancia de tráfico, está basado en la central de telefonía IP y el núcleo de red IP.

4.3.1.1. Central de telefonía IP

Maneja los diálogos en protocolo SIP, el enrutamiento de llamadas, y crea un circuito de conectividad IP en protocolo de transporte UDP, por medio de puerto 5060 hacia la red IP, a este circuito o canal de comunicación entre la central de telefonía y la red IP se le conoce como troncal digital.

4.3.1.2. Troncal SIP

Un troncal es un circuito entre un elemento de red y otro, encargado del transporte de información de un origen a su destino. Al ser un canal de conectividad IP y llevar paquetes en protocolo SIP, en el diseño se le dará el nombre de troncal digital SIP o simplemente troncal SIP.

4.3.1.3. SBC

Es un elemento intermedio entre la central de telefonía y la red IP, su principal función es la de brindar seguridad a la red del proveedor de servicios, porque realiza una traslación de IP's, del rango WAN de la sede del cliente, a rangos privados que se configuran y enrutan hacia la central de telefonía.

Por otro lado, maneja un firewall interno para la protección misma de la central de telefonía.

Por ello las IP's contenidas dentro de las interfaces del SBC son las conocidas por el cliente como IP's de VoIP, así mismo, las IP's de la central de telefonía o del troncal SIP, no son conocidas por el cliente, únicamente por el proveedor de servicios.

4.3.1.4. Núcleo IP y última milla

El núcleo IP es el encargado de la conectividad hacia la PBX del cliente, que por lo general se configura dentro de un protocolo de enrutamiento dinámico, se anuncian las redes WAN del cliente para que se conozcan dentro de la red de servicios.

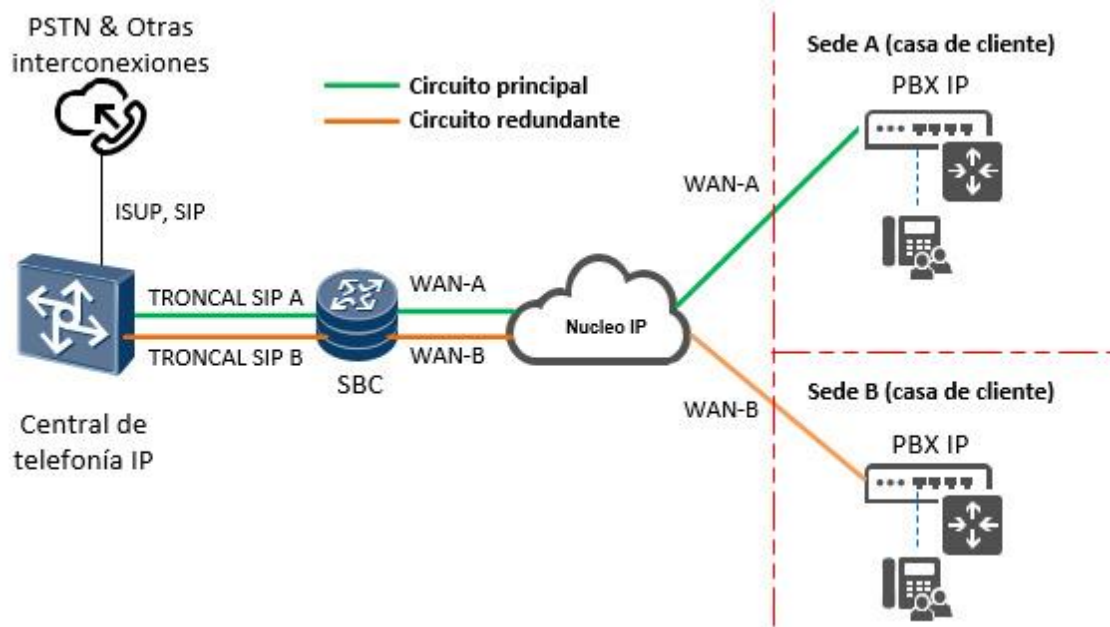
Como última milla se define toda la parte de la red cableada en planta externa, y los dispositivos en la sede del cliente que reciben la conectividad proveniente de la red de servicios.

4.3.2. Redundancia del circuito

En la figura 25, se observan dos circuitos configurados en paralelo, un principal y un redundante, ambos con el mismo diseño que el de la figura 24, el tramo donde se separan geográficamente es en la conectividad WAN, del núcleo IP hacia la sede del cliente, esto con la finalidad de conmutar el tráfico hacia la otra sede, cuando sea requerido por el sistema.

Cada circuito es independiente uno del otro, desde el troncal SIP, hasta la PBX IP de cada sede, operarán de tal forma que, un circuito actuará como principal activo y el secundario estará en reposo, y entrará a funcionar en caso de que el principal falle.

Figura 25. Redundancia de circuito troncal SIP



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

4.3.3. Escenarios de falla

Algunos escenarios de falla que el circuito de protección o redundante puede experimentar son:

- Los escenarios con mayor índice de ocurrencia, son los más vulnerables a sufrir algún daño físico ocasionado por el ser humano o por algún fenómeno atmosférico, estos escenarios son: cortes en el cableado de cobre o fibra óptica, pérdidas o desvanecimientos en los niveles de potencia, parcial o total en los sistemas radiantes, errores en las interfaces WAN, que ocasionan la pérdida de conectividad hacia la red de servicios.

- Las fallas en hardware, como los elementos de última milla, router, PBX IP, cableados, conectores, convertidores de medio, entre otros.
- Por último, configuraciones inapropiadas que ocasionan una pérdida de llamadas entrante o bien salientes para la PBX IP.

El control de llamadas es manejado por la central de telefonía, en ella se encuentra el análisis de prefijos y se configuran rutas de protección, que detectan la pérdida de llamadas y de forma automática conmutan el tráfico hacia una segunda ruta.

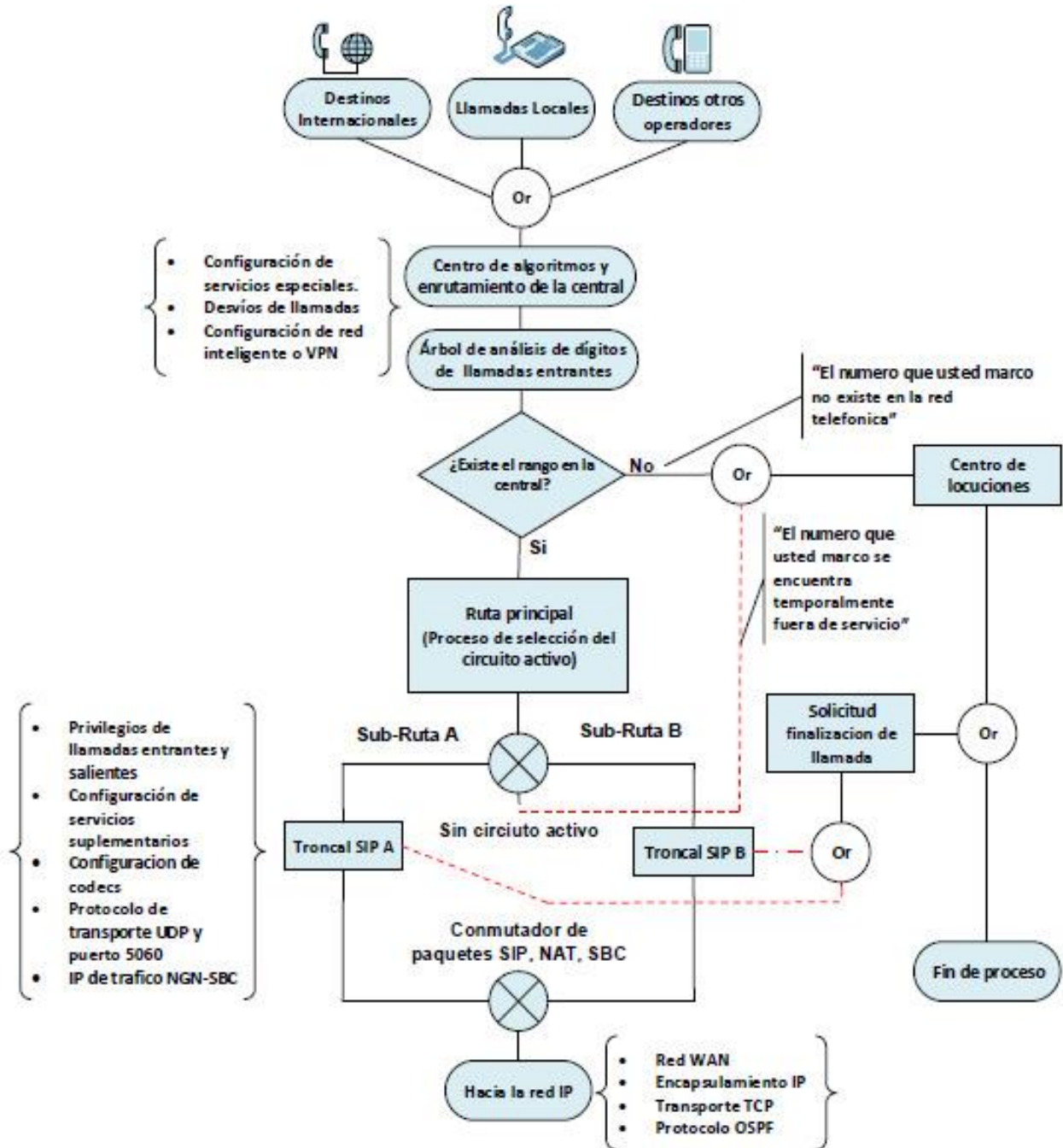
Dicho de otra manera, en la figura 25, el circuito principal es el contenido por el troncal SIP A, la central de telefonía conmutará el tráfico a través de su ruta al troncal SIP B, en caso ocurra alguna falla en la WAN-A o cualquier falla de los elementos de red dentro de la sede del cliente A.

4.4. Diseño en el núcleo de voz

En la figura 26, se observa el proceso de enrutamiento del tráfico para un servicio troncal SIP desde el origen de la llamada, pasando por el análisis y enrutamiento de la misma hasta ser entregada a la red del núcleo IP.

La configuración de los circuitos dentro de la central de telefonía IP, está basado en el siguiente diagrama de flujo, el diagrama está diseñado para ser implementado en una central con arquitectura NGN.

Figura 26. Diagrama de flujo de conmutación SIP



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

4.4.1. Origen y enrutamiento de la llamada

El proceso inicia cuando se origina una llamada, ya sea desde una red local, redes internacionales o bien otros operadores en red local, toda llamada entrante a la central telefónica converge en un árbol de análisis que identifica el prefijo de marcación y lo enruta hacia su red interna, o en caso de que el número no exista, lo rechaza dando una locución como respuesta.

4.4.2. Selección automática de circuito

Si el prefijo marcado por el usuario es válido y pertenece a su red, la central asigna un circuito a la llamada, a través de una ruta que contiene a su vez, dos sub rutas configuradas, cada sub ruta contiene el troncal digital que interconecta con la red IP.

Dicho troncal posee la configuración de todos los privilegios o permisos para llamadas entrantes y salientes, la configuración de los códec de audio, y la configuración del protocolo SIP a utilizar, puerto de transporte e IP de tráfico.

Es en este punto en donde la central identifica que troncal SIP es el activo, a través de la sub ruta disponible, y sabe a qué sub ruta enviar la llamada, al no existir una sub ruta disponible o activa, la llamada es rechazada por medio de una locución.

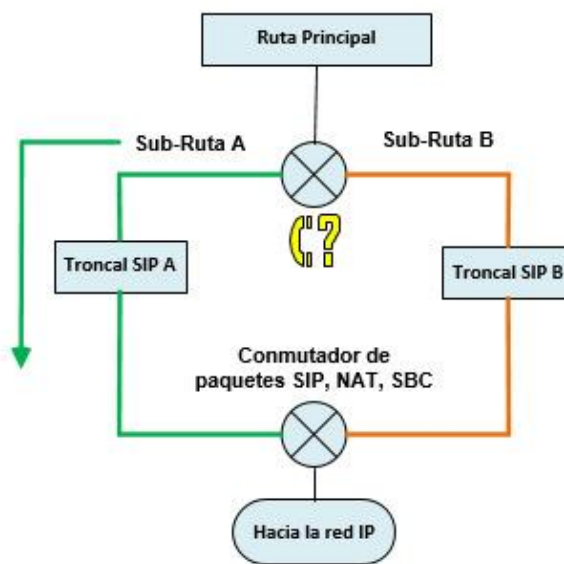
La central telefónica toma una de las sub rutas como activa y reconoce a una segunda sub ruta como disponible, dependiendo del tipo de selección configurado, puede ser cualquiera de las dos sub rutas configuradas como primaria o secundaria.

4.4.3. Conmutación para troncal SIP activo y en reposo

El proceso es de la siguiente manera:

- Suponiendo que la sub ruta A sea la activa y la sub ruta B disponible en reposo, todas las llamadas serán enviadas y procesadas por la sub ruta A y el troncal SIP A. El tráfico se mantendrá de esta forma hasta que la sub ruta A deje de estar disponible.

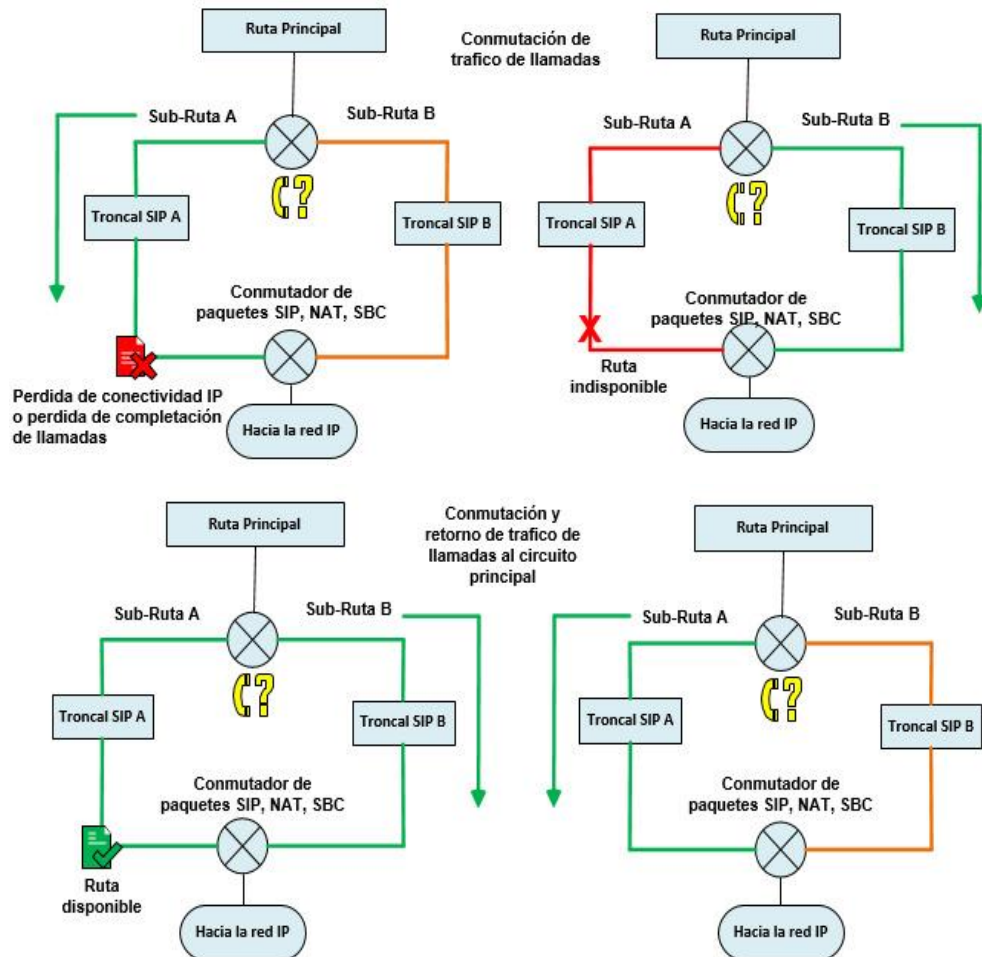
Figura 27. Troncal SIP principal activo



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

- Cuando la sub ruta A deje de estar disponible, la central conmutará y procesará todas las llamadas a través de la sub ruta B y el tráfico se mantendrá de esta forma hasta que la sub ruta A restablezca y vuelva a estar disponible, entonces la central conmutará nuevamente las llamadas a la sub ruta A.

Figura 28. Conmutación de tráfico



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

El proceso es inverso si la sub ruta activa se configura como la sub ruta B y la sub ruta A sea la secundaria.

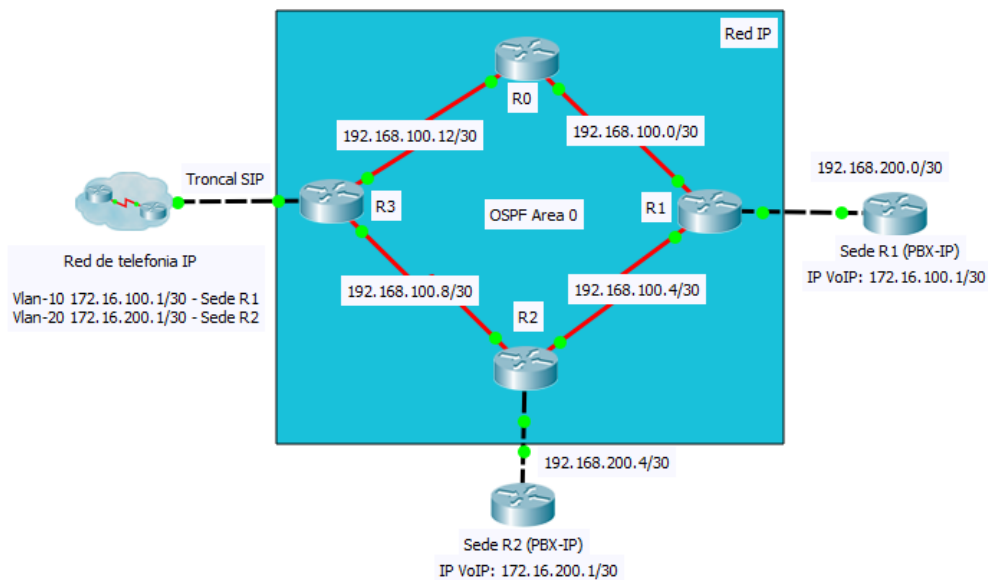
Es importante mencionar que el tráfico conmutará tanto por conectividad como por índices elevados de llamadas fallidas o congestión, es decir si el existe pérdida de paquetes IP o alto tráfico de llamadas.

4.5. Diseño en el núcleo IP

El número de router en el núcleo de la red IP, dependerá de las necesidades de cada operador de telefonía para brindar servicios, no existe un número definido de router, se adoptará un diseño con cuatro router principales identificados como R0, R1, R2 y R3, interconectados para formar una red en anillo, utilizan como protocolo de enrutamiento dinámico OSPF en área 0.

OSPF es el encargado de brindar la conectividad entre los router de la red, así mismo brinda un sistema de protección y redundancia IP, en caso ocurra alguna perdida de conectividad entre cualquiera de sus interconexiones.

Figura 29. Topología de red en anillo



Fuente: elaboración propia, empleando Cisco Packet Tracer 7.1.1.0138.

En la figura 29, se aprecia la red compuesta por los router del núcleo IP, la nube de la red de telefonía IP y dos sedes que suponen, cada una de ellas, una PBX IP las cuales generan y reciben el tráfico de llamadas proveniente y hacia la central de telefonía IP.

4.5.1. Configuración de ospf

Ingresar a cada router en modo privilegiado y posterior ingresar al modo configuración global, para el router R0 será:

- R0>enable
- R0#configure terminal
- R0(config)#

Activar el protocolo OSPF, el “1” declara el “process ID”, el cual identifica el proceso dentro del sistema IOS del router para ejecutar el protocolo OSPF, no necesariamente deberá ser el mismo en cada router.

- R0(config)#router ospf 1
- R0(config-router)#

Por último declarar las redes directamente conectadas a cada router, para activar OSPF en cada una de sus interfaces, este comando tiene dos peculiaridades, la primera, utiliza un *wildcard*, que no es más que lo contrario de la máscara de red, es decir, dentro de los octetos de la IP de la máscara de red, en modo binario, los bits que están en cero serán los bits de la dirección de red que se tomarán en cuenta y los bit que son unos en la máscara de red no se toman en cuenta, por ejemplo una máscara de red 255.255.255.252 su *wildcard* será 0.0.0.3.

Luego el argumento “área 0” dentro del comando, establece el área a la que van a pertenecer las interfaces del router, un router puede tener más de un área de trabajo, el comando quedará como sigue:

- R0(config-router)#network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 0

En el comando, la red 192.168.100.0 será anunciada por protocolo OSPF hacia los demás router como una red conocida por R0 dentro del area 0, su wildcard es 0.0.0.3 siendo una máscara de red 255.255.255.252, la siguiente red que está directamente conectada a R0 es la red 192.168.100.12/30 y el comando quedará de la siguiente forma:

- R0(config-router)#network 192.168.100.12 0.0.0.3 area 0

De igual forma para los restantes router de la red la configuración será de la siguiente manera:

En R1:

- R1>enable
- R1#configure terminal
- R1(config)#router ospf 1
- R1(config-router)#network 192.168.100.0 0.0.0.3 area 0
- R1(config-router)#network 192.168.200.0 0.0.0.3 area 0
- R1(config-router)#network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 0

En R2:

- R2>enable
- R2#configure terminal
- R2(config)#router ospf 1
- R2(config-router)#network 192.168.100.4 0.0.0.3 area 0
- R2(config-router)#network 192.168.200.4 0.0.0.3 area 0
- R2(config-router)#network 192.168.100.8 0.0.0.3 area 0

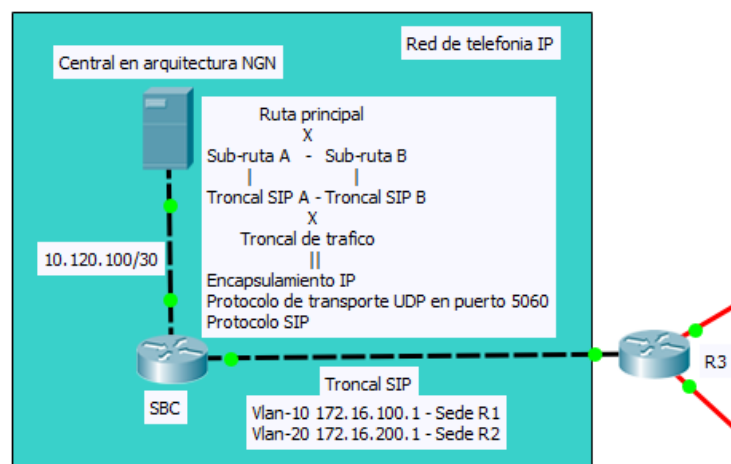
En R3:

- R3>enable
- R3#configure terminal
- R3(config)#router ospf 1
- R3(config-router)#network 192.168.100.8 0.0.0.3 area 0
- R3(config-router)#network 192.168.200.12 0.0.0.3 area 0
- R3(config-router)#network 172.16.100.0 0.0.0.3 area 0
- R3(config-router)#network 172.16.200.0 0.0.0.3 area 0

4.5.2. Interconexión entre la red IP y red de telefonía

La conectividad entre la red IP y la red de telefonía ocurre a través de dos elementos de red, el router R3 y el SBC, los interconecta una interfaz ethernet, y por cada circuito se crea una sub-interfaz, por medio de una red de área local virtual conocida como VLAN (Virtual LAN, por sus siglas en inglés), esto debido a la cantidad de interfaces que serían necesarias, si se utilizara una interfaz por cliente, lo cual sería impráctico.

Figura 30. Interconexión red IP & red de telefonía IP



Fuente: elaboración propia, empleando Cisco Packet Tracer 7.1.1.0138.

4.5.2.1. Configuración de sub-interfaz

Para poder configurar una sub-interfaz dentro del router R3 y SBC será de la siguiente manera:

Ingresar a cada router en modo privilegiado y posterior ingresar al modo configuración global:

- R3>enable
- R3#configure terminal

Crear la sub-interfaz y asignar la IP, por conveniencia se dará el mismo número de la sub-interfaz al número de la VLAN, aunque en realidad el número de sub-interfaz puede ser distinta al número de VLAN.

- R3(config)#interface fastEthernet 0/0.10
- R3(config-subif)#encapsulation dot1q 10
- R3(config-subif)#ip address 172.16.100.2 255.255.255.252

El apartado “encapsulation dot1q 10” es un comando que se utiliza para encapsular el tráfico dentro de la sub-interfaz, el tipo de encapsulación está basado en el protocolo IEEE 802,1Q, que, ayuda al compartimiento de un mismo espacio físico por varias redes, este espacio físico generalmente se le conoce como troncal, soporta hasta un total de 4 096 VLAN.

Por último, el número al final del comando es el número de la VLAN a ocupar por la sub-interfaz.

El procedimiento sera el mismo para la segunda sub-interfaz:

- R3(config)#interface fastEthernet 0/0.20
- R3(config-subif)#encapsulation dot1q 20
- R3(config-subif)#ip address 172.16.200.2 255.255.255.252

Por su parte dentro del SBC:

- SBC(config)#interface fastEthernet 0/0.10
- SBC(config-subif)#encapsulation dot1q 10
- SBC(config-subif)#ip address 172.16.100.1 255.255.255.252

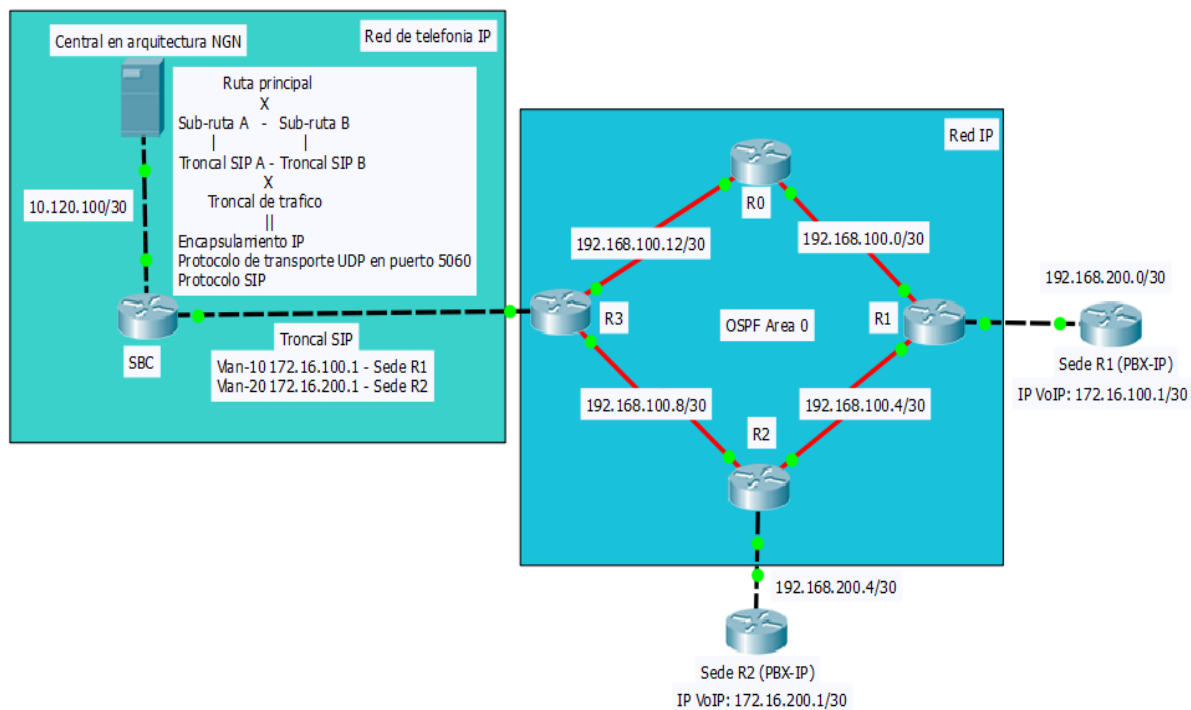
- SBC(config)#interface fastEthernet 0/0.20
- SBC(config-subif)#encapsulation dot1q 20
- SBC(config-subif)#ip address 172.16.200.1 255.255.255.252

Es importante mencionar que todos los comandos son para dispositivos de tecnología Cisco, y en cuanto al SBC, existe un router disponible por medio de la activación de un servicio, que opera como un SBC, es el modelo Cisco 7 600.

4.6. Diagrama final

En el mercado existen una amplia gama de dispositivos y tecnologías, sin embargo, siendo Cisco la de mayor implementación, en lo que respecta a networking, se enfocarán el diseño de la red únicamente en tecnologías cisco.

Figura 31. Diagrama unificado



Fuente: elaboración propia, empleando Cisco Packet Tracer 7.1.1.0138.

El apartado que corresponde a la red de telefonía IP, es el presentado en la sección 4.4, figura 26, se ha colocado un resumen como referencia en la figura anterior.

4.7. Estudio económico

Partiendo del diseño del circuito de la figura 25, para brindar la redundancia tanto en el núcleo de voz como en la red IP, se emplean configuraciones lógicas dentro de los equipos existentes en la red, la central de telefonía IP, SBC, y router de la red IP, ocupan recursos de hardware existentes y no requieren de inversión en el desarrollo del proyecto.

Por ello, se dará un enfoque de costos, tomando en cuenta únicamente recursos de última milla y orientado a los clientes del proveedor de servicios, contemplando mano de obra para la red cableada, o bien el montaje de infraestructura en el caso de enlaces por radiofrecuencia, así mismo, costos de materiales, y equipos de última milla.

4.7.1. Costo enlace por cobre

El costo en planta externa contempla la instalación del cableado de abonado de cobre, y cualquier tipo de accesorio necesario para su instalación, tales como: herrajes en posteados, crucetas y conectores, entre otros.

El costo por metro tiene un valor de \$2,45 y se considera una distancia promedio desde la red de acceso del proveedor de servicios, a la sede del cliente de 200mts.

En cuanto a equipos de última milla, existen una amplia variedad de tecnologías y modelos, el costo planteado en este estudio es para un router cisco capa 3 modelo 888.

Por último, se tomando en cuenta el enlace principal y el redundante, y suponiendo la misma distancia a la red de acceso para ambos, los costos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla I. **Costo de instalación enlace por cobre**

Circuito	Planta Externa costo x mt	Distancia Mt's (Promedio)	Costo de Planta Externa	Equipo última milla	Sub-Total
Principal	\$2,45	200	\$490,00	\$320,70	\$810,70
Redundante	\$2,45	200	\$490,00	\$320,70	\$810,70
				TOTAL	\$1 621,40

Fuente: elaboración propia.

4.7.2. Costos de enlace por fibra óptica

En cuanto a la instalación del cableado en planta externa de la fibra óptica, el costo contempla al igual que el cobre, infraestructura de posteados, herrajes, conectores, cajas y rosetas entre otras cosas.

El costo por metro es de \$4,00 para fibra óptica, con capacidad de transporte de no más de 100Mb, si bien es cierto existe una alta gama de capacidades en el mercado llegando hasta capacidades de 1Gb o 1000Mb, las más utilizadas en enlaces residenciales no superan los 100Mb.

A diferencia del cobre, la fibra necesita de un convertidor de medio físico, comúnmente denominado convertidor de capa 2 del modelo OSI, este equipo es el encargado de convertir las señales ópticas a señales eléctricas en cableados ethernet que son recibidos por el equipo de última milla en capa 3. Por ello existe un costo para cada uno de estos equipos.

Tabla II. **Costo de instalación enlace por fibra óptica**

Circuito	Planta Externa costo x mt	Distancia Mt's (Promedio)	Costo de Planta Externa	Equipo convertidor de medio	Equipo última milla	Sub-Total
Principal	\$4,00	200	\$800,00	\$309,65	\$112,50	\$1 222,15
Redundante	\$4,00	200	\$800,00	\$309,65	\$112,50	\$1 222,15
					TOTAL	\$2 444,30

Fuente: elaboración propia.

4.7.3. Costos de enlaces por radiofrecuencia

En cuanto a enlaces por radiofrecuencia, es de mencionar que existe una parte del lado de las torres telefónicas, desde el punto más cercano posible al cliente, y su posterior contraparte del lado del cliente.

Por tanto, el costo para del construir el radioenlace contempla, la instalación de antenas, cableados de ruta de transporte, cableados desde los equipos de radio a las antenas, conectores, entre otros.

Adicional a ello, el costo por los equipos de radiofrecuencia, encargados de modular, y amplificar las señales de radio necesarias para llevar la información de un extremo al otro, y los equipos convertidores de medio, encargados de convertir las señales a interfaces ethernet para ser entregadas a los equipos de última milla en capa 3 del modelo OSI.

Tabla III. **Costo de instalación enlace por radiofrecuencia**

Circuito	Radioenlace	Equipo convertidor de medio (promedio)	Equipo última milla	Sub-Total
Principal	\$2 789,52	\$472,33	\$112,50	\$3 374,35
Redundante	\$2 789,52	\$472,33	\$112,50	\$3 374,35
			TOTAL	\$6 748,70

Fuente: elaboración propia.

4.7.4. **Inversión inicial**

El costo inicial del proyecto contempla los costos de toda la infraestructura en planta externa y mano de obra.

Tabla IV. **Resumen inversión inicial por medio de transporte**

Medio	Costo inicial
Cobre	\$1 621,40
Fibra optica	\$2 444,30
Radiofrecuencia	\$12 285,14

Fuente: elaboración propia.

La tabla IV muestra un resumen de los costos por medio de transporte, cobre, fibra óptica y radiofrecuencia, en cuanto a cobre y fibra se contempla una distancia de 200mts desde los equipos de acceso a la sede del cliente.

4.7.5. Rentabilidad del proyecto

El costo inicial del proyecto no puede ser cancelado en un pago inicial por el cliente, es impráctico y no es rentable, por lo que se divide en pagos durante el período que dure el contrato del servicio, sumado a la renta mensual, para un servicio de cobre, fibra óptica y radioenlace, con una tasa de interés del 5 %, quedarán de la siguiente forma:

Tabla V. **Renta mensual por medio de transporte**

Medio	Renta Mensual
Cobre (principal + redundante)	\$190,00
Fibra optica (principal + redundante)	\$285,00
Radiofrecuencia (principal + redundante)	\$380,00

Fuente: elaboración propia.

4.7.6. Viabilidad económica

Para conocer la viabilidad del proyecto se realiza un evalúo económico de acuerdo rentabilidad del proyecto en un período de contratación del servicio de cara al cliente, comparando el costo inicial y los egresos por mantenimiento del servicio, durante el período de tiempo que dure el contrato del servicio.

Para ello se utiliza el indicador de valor actual neto (VAN), este permite proyectar la inversión inicial, los costos por mantenimiento, y la rentabilidad, durante el período de contrato del servicio, con una tasa de interés.

El indicador del VAN ayuda a conocer el flujo positivo o negativo de ingresos de un proyecto y poder decidir si es factible un proyecto.

La fórmula para calcular el indicador del VAN es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^m \frac{Q_n}{(1+k)^n}$$

- I , es la inversión inicial, y tendrá un valor negativo
- Q , es el flujo de ingresos menos egresos por año
- k , es la tasa de interés, en este caso 5 %
- m , es el número de años a proyectar, será el número de años de vigencia del contrato.

Dada la naturaleza de cada medio de transporte, cada uno difiere en cuanto a los costos de instalación, mantenimiento y rentabilidad, dependerá de la disponibilidad de la red, las condiciones de la infraestructura y topografía de cada lugar en donde se encuentren las sedes del cliente, cuál de las tres opciones ofrecer al cliente.

En este punto, se da una negociación entre la parte comercial del proveedor y el cliente para conciliar en mutuo acuerdo a través de un contrato.

Tabla VI. **Flujo efectivo**

Flujo efectivo enlaces por cobre			
Año	Ingresos	Egresos	Ingresos - Egresos
1	\$2 280,00	\$1 500,00	\$780,00
2	\$2 280,00	\$1 500,00	\$780,00
3	\$2 280,00	\$1 500,00	\$780,00
4	\$2 280,00	\$1 500,00	\$780,00
5	\$2 280,00	\$1 500,00	\$780,00
Inversion Inicial			-\$1 621,40
Tasa de interés			5 %
VAN			\$1 755,59
Flujo efectivo enlaces por fibra optica			
Año	Ingresos	Egresos	Ingresos - Egresos
1	\$3 420,00	\$1 000,00	\$2 420,00
2	\$3 420,00	\$1 000,00	\$2 420,00
3	\$3 420,00	\$1 000,00	\$2 420,00
4	\$3 420,00	\$1 000,00	\$2 420,00
5	\$3 420,00	\$1 000,00	\$2 420,00
Inversion Inicial			-\$2 444,30
Tasa de interés			5 %
VAN			\$8 033,03
Flujo efectivo enlaces por radiofrecuencia			
Año	Ingresos	Egresos	Ingresos - Egresos
1	\$4 560,00	\$2 000,00	\$2 560,00
2	\$4 560,00	\$2 000,00	\$2 560,00
3	\$4 560,00	\$2 000,00	\$2 560,00
4	\$4 560,00	\$2 000,00	\$2 560,00
5	\$4 560,00	\$2 000,00	\$2 560,00
Inversion Inicial			-\$6 748,70
Tasa de interés			5 %
VAN			\$4 334,76

Fuente: elaboración propia.

En este estudio se supone un contrato para cinco años de vigencia, tomando una tasa de interés del 5 %, a una distancia de 200mts entre la red de acceso a las sedes del cliente.

De la tabla IV se puede observar un VAN positivo para cada caso, esto indica que es viable ofrecer servicios redundados para servicios VoIP en troncales digitales, con la opción de utilizar 3 medios de transporte.

Dependerá de las necesidades de cada cliente, cuál de las tres opciones elegir, cada una de ellas ofrece sus ventajas y desventajas, pero los tres cumplen a cabalidad su principal objetivo, brindar la redundancia para tráfico de VoIP en servicios corporativos a través de troncales digitales SIP.

CONCLUSIONES

1. Las centrales de telefonía IP son el corazón de la red, los proveedores de servicios protegen sus equipos con normas de energía y contra catástrofes naturales.
2. Desde la perspectiva del proveedor de servicios, ofrecer un servicio redundado representa mayores ingresos, requiere construir los enlaces en planta externa para cada servicio que el cliente requiera.
3. Desde la perspectiva de los clientes, contar con un servicio redundante ofrece estabilidad y un mayor ingreso para su operación, debido a que disminuirá la pérdida de tráfico entrante y salientes de llamadas en su servicio troncal SIP.
4. Los servicios por cobre son los de menor valor, pero así mismo son los enlaces más vulnerables para experimentar fallas, y se utilizan a muy corta distancia de la red de acceso.
5. Aun cuando la fibra óptica sea la de mayor demanda para entregar un servicio corporativo, en algunos casos las condiciones topográficas y la infraestructura misma de cada lugar, no permiten su implementación, en estos casos se ofrecen enlaces por radiofrecuencia.

RECOMENDACIONES

1. Es importante ofrecer un servicio redundado de tráfico de voz sobre IP, debido a la demanda en el mercado y la importancia que toman los servicios multimedia para comunicarnos.
2. Debido a la naturaleza de la fibra óptica, los enlaces por este medio, ofrecen una mayor estabilidad del servicio, tiene un menor costo de mantenimiento y por ende un mayor índice de ingresos.
3. En cuanto a equipos de última milla se refiere, existen una amplia variedad de convertidores de medio, sin embargo, es de tomar en cuenta que cada equipo agregado a la red, será un punto de falla más a considerar.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALBORNOZ, José Manuel. *Radio enlaces digitales*. España: Thomson Ediciones, Paraninfo S.A, 2007. 376 p.
2. CABEZAS POZO, José Damián. *Sistemas de telefonía*. España: Thomson Ediciones, Paraninfo S.A, 2007. 376 p.
3. SOLER FERRÁN, Pablo & IGLESIAS MEIDNA, José Ramón. *Centrales telefónicas*. [en línea]. <<https://historiatelefonía.com/2016/09/14/jacks/>>. [Consulta: 20 de octubre de 2018].
4. VOIP-INFO. *Codecs, VoIP*. [en línea]. <<https://www.voip-info.org/codecs/>>. [Consulta: 5 de diciembre de 2018].
5. CISCO. *Conceptos de SDH*. [en línea]. <https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/optical/synchronous-digital-hierarchy-sdh/28327-sdh-28327.html>. [Consulta: 7 de enero de 2019].
6. SOLER FERRÁN, Pablo & IGLESIAS MEIDNA, José Ramón. *Conmutación automática, sistemas paso a paso*. [en línea]. <<https://historiatelefonía.com/2018/11/08/conmutacion-automatica-sistemas-paso-a-paso/>>. [Consulta: 10 de noviembre de 2018].

7. COUCH II, Leon W. *Sistemas de comunicación digitales y analógicos*. 5a ed. México: Prentice Hall, 1998. 776 p.
8. *Curso CCNA Exploration 4.0. Routing Protocols and Concepts*. [en línea]. <https://www.netacad.com/es>. [Consulta: agosto de 2011].
9. HUIDOBRO, Jose Manuel & CONESA, Rafael. *Sistemas de telefonía*. 5a ed. España: Thomson Editores, Paraninfo S.A, 2006. 512 p.
10. JHONK, Carl Theodore Adolf. *Teoría electromagnética, campos y ondas*. México: Limusa, S.A, 2004. 744 p.
11. ERICSSON. *Manual de operación y mantenimiento*. [GSM], [Telefónica Móviles Guatemala, S.A], 164p.
12. HUAWEI TECHNOLOGIES. *Manual de operación y mantenimiento*. [Softx3000], [Telefónica Móviles Guatemala, S.A], 104p.
13. TELECOMTIGERS. *Protocolo SIP*. [en línea]. <<http://telecomtigers.blogspot.com/search/label/SIP>>. [Consulta: 10 de noviembre de 2018].
14. COUNTERPATH. *Softphone*. [en línea]. <<https://www.counterpath.com/x-lite/>>. [Consulta: 12 de diciembre de 2018].

15. CISCO. *Teléfonos IP cisco.* [en línea]. <<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collaboration-endpoints/unified-ip-phone-7800-series/index.html>>. [Consulta: 12 de diciembre de 2018].

