



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

**PBX INALÁMBRICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS
UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONÍA IP**

Sergio Ivann Quintana Cabrera

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PBX INALÁMBRICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS
UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONÍA IP**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SERGIO IVAN QUINTANA CABRERA

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdoba
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
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:

PBX INALÁMBRICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONÍA IP

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha mayo de 2014.

Sergio Ivan Quintana Cabrera



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 5 de marzo de 2015

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

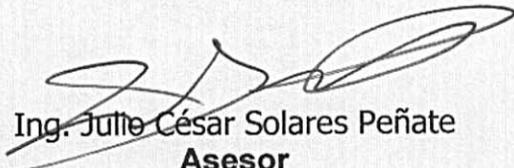
Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"PBX INALAMBRICA PARA LA PRESTACION DE SERVICIOS UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONIA IP"**, desarrollado por el estudiante **Sergio Iván Quintana Cabrera**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor

JULIO CESAR SOLARES P.
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 2330



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 57. 2015
Guatemala, 16 de abril 2015.

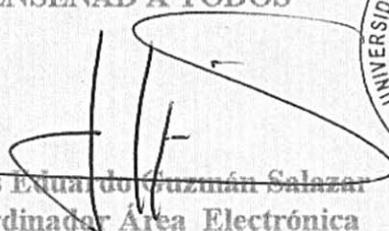
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
PBX INALÁMBRICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS
UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONÍA IP, del estudiante
Sergio Iván Quintana Cabrera, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. 
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



sro



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 58. 2015.

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 del estudiante; **SERGIO IVÁN QUINTANA CABRERA,** titulado: **PBX INALÁMBRICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONÍA IP,** procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



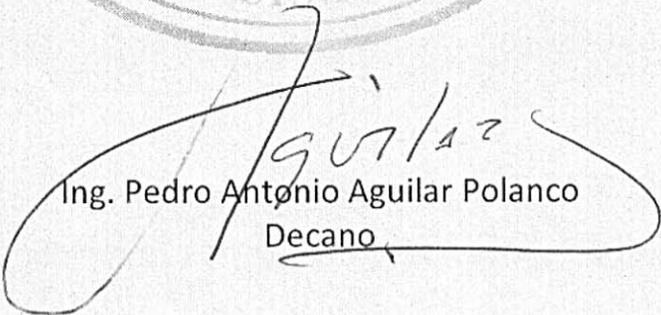
GUATEMALA, 31 DE JULIO 2015.



DTG. 024.2016

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, al Trabajo de Graduación titulado: **PBX INALÁMBRICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIO UTILIZANDO LA RED WI-FI Y TELEFONÍA IP**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Iván Quintana Cabrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2016



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|---------------------|--|
| Dios | Por ser la fuerza y ayuda durante toda mi vida. |
| Mis padres | Por todo el apoyo incondicional que recibí desde el inicio de mis estudios y la confianza de creer en mí para llegar a cumplir un sueño que ellos empezaron un día, dándome la oportunidad de estudio. |
| Mis hermanas | Por su cariño y aliento en cada etapa de la carrera. |
| Mis amigos | Porque nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional. |

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por haberme albergado todos estos años en tan prestigiosa y honorable casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por haber participado durante toda mi formación académica.

Ing. Julio Solares

Por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

Catedráticos

Por la enseñanza y conocimiento que sembraron en mí durante la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA Y REDES INALÁMBRICAS.....	1
1.1. PBX.....	1
1.2. Asterisk	2
1.2.1. Fundamentos.....	2
1.2.1.1. Tipo de tecnología soportada.....	2
1.2.2. WPBX.....	4
1.3. Propagación del espectro de radiofrecuencia (picocélula)	5
1.3.1. Wi-Fi	7
1.3.1.1. Consideraciones a tomar	8
1.3.1.2. Radio de cobertura	9
1.3.1.3. Capacidad.....	10
1.4. Voz sobre IP (VoIP)	13
1.4.1. Telefonía IP.....	14
1.4.2. SIP	16
1.4.2.1. Entidades SIP	17
1.4.2.2. Métodos SIP	19
1.4.2.3. <i>Session Description Protocol</i>	20
1.4.2.4. <i>Real-time Transport Protocol</i>	21

1.4.2.5.	Llamadas SIP	24
1.4.3.	Inter Asterisk eXchange.....	25
1.4.3.1.	Arquitectura de IAX.....	27
1.4.3.2.	Funcionamiento de IAX.....	28
2.	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	31
2.1.	Perfil de una empresa	31
2.2.	Arquitectura de la red	31
2.3.	Requerimientos de servicio	32
2.3.1.	Servicios de telefonía.....	33
2.3.2.	Servicio de datos.....	34
3.	INGENIERÍA DEL PROYECTO	35
3.1.	Arquitectura de la red	35
3.2.	Asterisk (central de conmutación)	36
3.2.1.	Códecs y señalización	37
3.2.2.	Uso de la central.....	37
3.2.3.	Ubicación de la central	40
3.3.	Red de acceso	40
3.3.1.	Líneas troncales: dimensionamiento	41
3.3.2.	Líneas troncales E1/PRI	43
3.3.3.	Líneas troncales VoIP.....	44
3.4.	Planta externa	45
3.4.1.	Red de acceso.....	46
3.4.2.	Red inalámbrica: cobertura.....	48
3.4.3.	Red inalámbrica: capacidad	53
4.	COSTO DEL PROYECTO	57
4.1.	Costo de implementación	57

4.2. Costo de operación y mantenimiento	58
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Arquitectura Asterisk	3
2.	Red de una WPBX	5
3.	Distribución de las células de cobertura.....	6
4.	Cálculo para pérdida total del camino	9
5.	Muestra de cuando no o cuando si sucede el traslape de canales	11
6.	Muestra del uso de por lo menos 12 canales.....	12
7.	Muestra del uso de 23 canales sin traslape	12
8.	Dispositivos de una red SIP	18
9.	Glosario de una sesión SIP	21
10.	Diagrama de señalización SIP	25
11.	Flujo de comunicación de protocolo IAX	28
12.	Formato binario de una trama F en IAX2	29
13.	Formato binario de una trama M	30
14.	Ejemplo de arquitectura de red	32
15.	Arquitectura de red PSTN e internet	36
16.	Flujo de señalización entre el servidor Asterisk y clientes.....	38
17.	Gráfica de comportamiento de servidor Asterisk	39
18.	Gráfica de uso del CPU durante las llamadas	40
19.	Imagen de una Asterisk <i>card</i>	43
20.	Arquitectura de una red	46
21.	Área de cobertura de un Linksys WAP54G	49
22.	Área de cobertura de un Linksys WIP300	50
23.	Área de cobertura de los tres pisos.....	51

TABLAS

I.	Protocolos soportados por Asterisk	3
II.	Características de las diferentes versiones de Wi-Fi	8
III.	Áreas cobertura de distintas frecuencias	10
IV.	Tabla de <i>stack</i> de RTP	22
V.	Comportamiento de llamadas	41
VI.	Tráfico total calculado	42
VII.	Parámetros de enlace	44
VIII.	Parámetros para línea troncal.....	45
IX.	Características de cobertura los diferentes puntos	48
X.	Capacidad de red inalámbrica	53
XI.	Tamaño de encabezado	54
XII.	Capacidades de señal por piso.....	55
XIII.	Costo de instalación.....	57
XIV.	Costo de hardware.....	58

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibel
\$	Dólar (moneda)
Erlang	Equivale a 60 minutos
GHz	Gigahertz por segundo
Kbps	Kilobytes por segundo
Mbps	Megabytes por segundo
Mhz	Megahertz por segundo
Min/mes	Minutos por mes
Ms	Milisegundos
%	Porcentaje
Seg	Segundos

GLOSARIO

API	Application Programming Interface
CCK	Complementary Code Keying
CODEC	Coder/DECoder
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
DTMF	Dual Tone Multi Frequency
GPL	GNU General Public License
GSM	Global System for Mobile Communications
H.323	Recomendación de la ITU-T para sesiones de comunicación en redes de paquetes.
IAX	Inter-Asterisk eXchange
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force's
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial, Scientific and Medical Band
ISUP	ISDN User Part
ITU-R	International Telecommunication Union- Radiocommunication Sector (UIT-R).
ITU-T	International Telecommunication Union- Telecommunication.
IVR	Interactive Voice Response
LAN	Local Area Network
MGCP	Media Gateway Control Protocol
NAT	Network Address Translation

OFDM	Orthogonal Frequency–Division Multiplexing
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PBX	Private Branch Exchange
PMBX	Private Manual Branch Exchange
PRI	Primary Rate Interface
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of Service
RTC	Red Telefónica Conmutada
RTP	Real Time Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
RTSP	Real Time Streaming Protocol
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SSID	Service Set IDentifier
TCP	Transport Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
ToIP	Telephony over IP
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagram Protocol
URI	Uniform Resource Identifiers
VoIP	Voice over IP
WAN	Wide Area Network
Wi-Fi	IEEE 802.11 “Wireless Fidelity”
WLAN	Wireless Local Area Network
WPBX	Wireless Private Branch Exchange

RESUMEN

El presente trabajo de graduación consiste en la elaboración de una PBX inalámbrica para la prestación de servicios utilizando la red Wi-Fi y la telefonía IP, cuyo fin es brindar servicios de voz y datos a usuarios por medio de un sistema inalámbrico como principal medio de acceso.

El sistema de telefonía IP (VoIP) se implementa por medio de una solución en software utilizando Asterisk/GNU Linux, lo cual es la central de conmutación PBX. El uso de la tecnología Wi-Fi es para la atención de la demanda móvil de los usuarios.

Se detallan temas teóricos sobre centrales PBX, VoIP, Asterisk, Wi-Fi, así como los puntos importantes a tomar en cuenta al momento de una planificación e implementación de una red multicelular. Se propone una empresa ficticia donde se define el lugar a ocupar por los equipos terminales, luego se aplican los conceptos que se revisaron y se procede a realizar el diseño de la red.

Adicional a esto, se hace un cálculo de los costos de inversión y operación de la propuesta y se dan las recomendaciones necesarias.

OBJETIVOS

General

Elaborar el diseño de una PBX inalámbrica para la prestación de servicios utilizando la red Wi-Fi y telefonía IP

Específicos

1. Presentar los fundamentos de telefonía, VoIP y redes inalámbricas.
2. Definir una posible localización y desarrollar una ingeniería para el proyecto.
3. Hacer las estimaciones necesarias de costos para la implementación del proyecto de una PBX inalámbrica.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de graduación trata sobre el desarrollo de una red de PBX inalámbrica para una empresa que ofrezca movilidad, eficiencia y una amplia gama de servicios sobre IP.

La necesidad hoy en día de los negocios de contar con un sistema de comunicación que sea confiable y eficiente, ha llevado a la investigación de diversas tecnologías las cuales ofrecen soluciones adecuadas dependiendo la manera en la cual se apliquen.

Bajo este escenario el poder tener un servicio de telefonía eficiente y confiable se presenta como una de las grandes necesidades esenciales para cualquier negocio, por lo cual, muchos de los negocios prefieren implementar de centrales privadas PBX que puedan satisfacer sus necesidades de seguridad, eficiencia y confiabilidad en sus operaciones, pues con ello se logra que la comunicación sea más fácil en los negocios y poder reducir sus costos que podrían involucrar algunos recursos extras o externos para la comunicación de los usuarios de un mismo negocio.

Las aplicaciones y estándares de VoIP han evolucionado rápidamente en los últimos años, los cuales son adoptados por muchos usuarios y negocios en general, dado que toman todas las características de las redes IP, pudiendo utilizar una única infraestructura y medios de transmisión de voz, datos, video e imágenes.

El uso de software de código abierto ha sido tomado en cuenta por muchas empresas, dado que brinda facilidad al momento de hacer actualizaciones o cambios en los sistemas, reducidos costos que se llevan en el uso de tecnología propia. Dado que todos estos elementos se ampliarán y tendrán presencia bastante importante en el mundo de las comunicaciones a corto plazo, se presenta la solución de PBX por medio de la telefonía IP y Asterisk (Central PBX a través de software).

Además del buen diseño y dimensionamiento de la central de conmutación Asterisk y de la red de acceso a la PSTN, es necesario poner interés especial en la planta externa de la red, la cual por los medios físicos dará acceso al usuario final. En este contexto se presenta la utilización de sistemas inalámbricos celulares (Wi-Fi) como una muy buena solución para los usuarios, ya que estos sistemas optimizan bastante el acceso telefónico con la libertad de movimiento sin la necesidad de cable y la localización inmediata de cables.

Un objetivo importante de este trabajo es el diseño de una central privada inalámbrica para que pueda hacer uso cualquier negocio según sus necesidades considerando de planteamiento e implementación de una red celular.

En el presente trabajo se dedica en la primera parte al aspecto teórico que involucra el diseño, haciendo énfasis en la tecnología Wi-Fi y su funcionamiento con las aplicaciones de telefonía IP. En la segunda parte se propone el diseño y aplicación de la red: central de conmutación (servidor Asterisk), planta externa inalámbrica y la red de acceso PSTN.

1. FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA Y REDES INALÁMBRICAS

1.1. PBX

Es una central telefónica conectada directamente a la red pública por medio de líneas troncales para gestionar además de las llamadas internas, las entrantes y las salientes con autonomía sobre cualquier otra central telefónica. Este dispositivo generalmente facilita la comunicación entre usuarios de una empresa y la minimización de costos que llevaría contratar una línea de abonado por cada punto de la empresa que requiera acceso telefónico. Con ello se elimina el uso innecesario de otros recursos para llevar a cabo una llamada entre usuarios de la misma empresa.

PBX (Private Business Exchange) es un término que describe la automatización de estas centrales privadas, en las cuales el proceso de conmutación no necesita de la intervención de una persona que conecte y desconecte los cables.

En general, el sistema está compuesto por:

- La central de conmutación
- Líneas inalámbricas y alámbricas
- Líneas hacia otras centrales o PBX

1.2. Asterisk

Es un programa de software libre que proporciona funcionalidades de una central telefónica. Como cualquier PBX, se puede conectar un número determinado de teléfonos para hacer llamadas entre sí e incluso conectar a un proveedor de VoIP.

1.2.1. Fundamentos

Asterisk incluye muchas características que anteriormente solo estaban disponibles en costosos sistemas propietarios de PBX, como buzón de voz, conferencias, IVR o distribución automática de llamadas. Los usuarios pueden crear nuevas funcionalidades escribiendo un Dialplan (plan de marcación) en el lenguaje de script de Asterisk o añadiendo módulos escritos en C o en cualquier otro lenguaje.

Es un PBX de código abierto que puede soportar voz sobre paquetes y TDM. Incluye funcionalidades encontradas en los sistemas de comunicaciones más recientes como colas de llamadas, conferencias, audiorespuestas y otras funciones que permiten la interconexión con otros sistemas de telefonía a través de troncales analógicas y digitales.

1.2.1.1. Tipo de tecnología soportada

La tecnología de PBX soporta lo siguiente:

- Protocolos de paquetes de voz, para la comunicación en redes de conmutación de paquetes (IP y *Frame relay*). No requieren ningún

hardware especial. Soporta SIP, IAX, H.323, *Voice over Frame relay* y *Media gateway control protocol*.

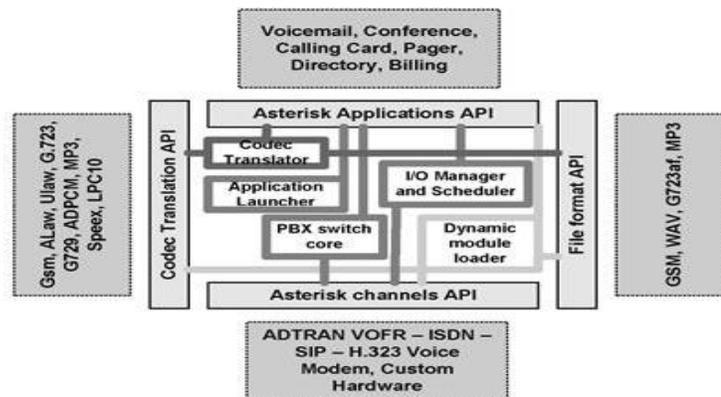
- Interfaces adicionales que proveen conectividad a los servicios de la telefonía convencional pero no soportan la conmutación TDM.

Tabla I. **Protocolos soportados por Asterisk**

Codec	Tasa de transmisión
G.711a (ley A)	64 kbps
G.711u (ley mu)	64 kbps
IMA-ADPCM	32 kbps
GSM 6.10	12 kbps
MP3	128 kbps
LPC-10	2.4 kbps

Fuente: *Stack Exchange*. <http://tex.stackexchange.com/questions/24839>. Consulta: 10 de agosto de 2014.

Figura 1. **Arquitectura Asterisk**



Fuente: *Wordpress*. <https://taazzz.wordpress.com/2010/07/09/asterisk-architecture/>. Consulta: 10 de agosto de 2014.

La arquitectura fue desarrollada con confiabilidad y potencia en la interfaz de herramientas de telefonía tanto en hardware y software.

En el inicio el *Dinamic Module Charger* inicializa los *drivers* de los canales, *códecs*, archivos, aplicaciones y otros por medio de API's. La conmutación de PBX inicia con el manejo de llamadas de acuerdo con la marcación del usuario; al usar el lanzador de aplicaciones puede procurarse que los teléfonos timbren, que marquen por medio de líneas troncales, o se conecten con un correo de voz. Otro aspecto importante es que en su arquitectura posee un convertidor de *códecs*, que hace que las comunicaciones entre canales que utilizan *códecs* diferentes se pueda establecer.

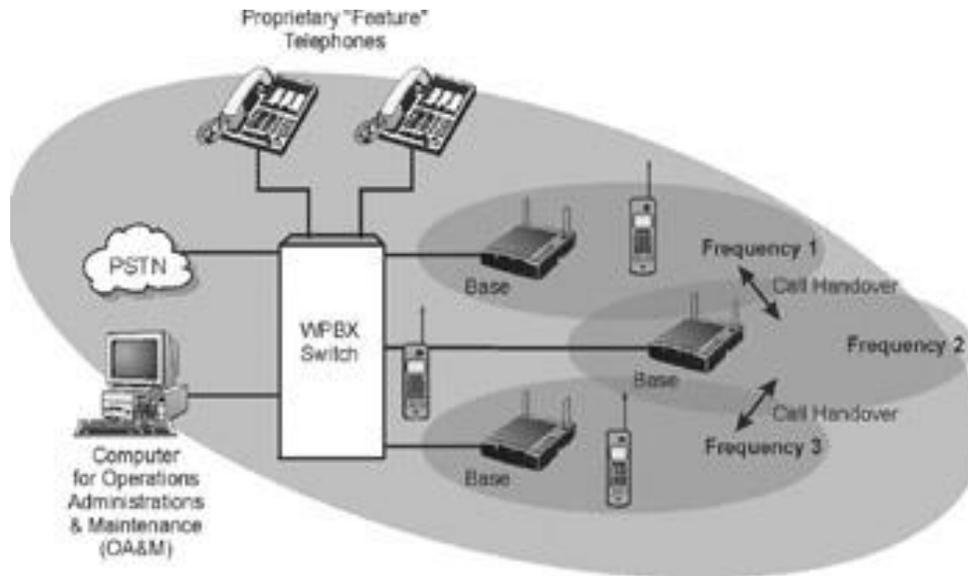
1.2.2. WPBX

Wireless Private Business Exchange integra teléfonos inalámbricos con un sistema de conmutación PBX. Teléfonos PBX inalámbricos se comunican a través de estaciones de base con cable (transmisores de radio fijos) para el sistema de conmutación WPBX. La mayoría de los sistemas de transferencia de llamada WPBX tienen cambio automático que permite a los teléfonos inalámbricos poder transferir sus llamadas a otras estaciones base, como el paso a través de las áreas de cobertura de radio WPBX.

Los beneficios de la WPBX son:

- Reubicación de las estaciones de trabajo se hace fácil
- Se aumenta la disponibilidad de los usuarios
- El número de llamadas que no se atiende se reduce
- La disponibilidad de los usuarios aumenta

Figura 2. Red de una WPBX



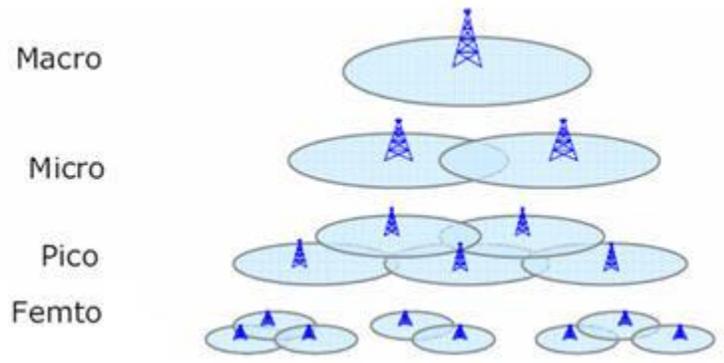
Fuente: *Simple Telecom*. <http://simple-telecom.blogspot.com/2008/05/wireless-private-branch-exchange-wpbx.html>. Consulta: 15 de agosto de 2014.

1.3. Propagación del espectro de radiofrecuencia (picocélula)

Una picocélula es una pequeña estación base celular típicamente cubre una área pequeña como en la construcción de oficinas, centros comerciales, estaciones de tren, entre otros. En las redes celulares, picocélulas normalmente, se utilizan para extender la cobertura de las zonas del interior, donde las señales exteriores no llegan bien o para agregar capacidad de la red en zonas con el uso de teléfono muy denso, como en los aeropuertos.

Las picocélulas proporcionan cobertura y capacidad en áreas difíciles o costosas de alcanzar con el enfoque de macro célula más tradicional.

Figura 3. **Distribución de las células de cobertura**



Fuente: *Energy Tel*. <http://energytel.typepad.com/energytel/radiobase-de-telecomunicaciones/>.
Consulta 15 de agosto de 2014.

En la redes inalámbricas celulares, tales como GSM, la estación base pico célula es típicamente de bajo costo, pequeña (normalmente el tamaño de una resma de papel A4) unidad razonable simple que se conecta a un controlador de estación base BSC. La BSC realiza la gestión de recursos de radio y las funciones de traspaso y los datos agregados que se pasan al centro de conmutación móvil MSC o a GPRS. La conectividad entre la picocélula y la BSC consiste típicamente en cableado, aunque los sistemas desplegados inicialmente utilizaban la jerarquía digital plesíncrona PDH enlaces como E1, los sistemas más recientes utilizan cableado Ethernet.

Un trabajo más reciente ha desarrollado el concepto hacia una unidad que contiene no solo una picocélula, sino también muchas funciones de la BSC y algunas de la MSC. Esta forma de picocélula a veces se llama un punto de acceso o estación base. En este caso la unidad contiene toda la capacidad requerida para conectarse directamente a internet. Sin la necesidad de la infraestructura BSC/MSC; esto podría ser un enfoque más rentable.

Las picocélulas ofrecen muchos de los beneficios de células pequeñas que mejoran el rendimiento de datos para los usuarios móviles y aumentar la capacidad de la red móvil. En particular, la integración de las picocélulas con macrocélulas a través de la una red heterogénea puede ser útil en el aumento de capacidad de datos móviles.

1.3.1. Wi-Fi

Es un elemento de conexión que conecta dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos que tienen la capacidad de comunicarse vía Wi-Fi como una computadora personal, un *smartphone*, un reproductor de audio digital o una consola de videojuego, pueden comunicarse a internet por medio de un punto de acceso de una red inalámbrica. Este punto de acceso (*hotspot*) tiene un alcance de 20 a 25 metros en interiores y espacios abiertos con un alcance mayor. Con la superposición de múltiples puntos de acceso se pueden cubrir grandes áreas.

Wi-Fi pertenece a Wi-Fi Alliance, la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los dispositivos cumplen con los estándares 802.11 relacionados con las redes inalámbricas de área local. Existen dos tipos de Wi-Fi: uno es el que disfruta de gran aceptación internacional ya que operan en la banda 2,4 Ghz que está disponible casi universalmente con velocidades 11 Mbs/s, 54 Mbs/s y 300 Mbs/s, cuyo estándar son IEEE 802.11b, IEEE 802.11g e IEEE 802.11n.

Actualmente ya se empieza a manejar el estándar IEEE 802.11^a que se conoce como WIFI 5, el cual opera en la banda 5 Ghz y en canales casi limpios. La banda 5 Ghz ha sido habilitada recientemente y además no existen otras tecnologías que la estén utilizando.

El alcance de esta nueva versión es un poco menor que los estándares que operan en la banda de 2,4 Ghz debido a que la frecuencia es menor (a mayor frecuencia menor alcance).

Tabla II. **Características de las diferentes versiones de Wi-Fi**

802.11 standard version	RF Band (GHz)	Max Speed (Mbps)	Typical Speed (Mbps)	Approx. Indoor range (m)	Approx. Outdoor range (m)
a	5	54	25	40	100
b	2.4	11	6	70	150
g	2.4	54	25	80	200
n	2.4 or 5	600 (4x4 @	75 (1x1 @ 20	100	250

Fuente: *Wifiboost*. <http://wifiboost.blogspot.com/>. Consulta 20 de agosto de 2014.

El estándar 802.11g ha sido el más aceptado, ya que ofrece compatibilidad con los demás estándares que ya se han implementado en diversos dispositivos y entornos.

1.3.1.1. Consideraciones a tomar

Si se tienen las características del medio inalámbrico para la red de acceso tipo LAN, donde normalmente se encuentran vidrios, fuentes de reflexión, pisos, paredes, entre otros, estos elementos se deben de tomar en cuenta para el planteamiento y desarrollo del sistema. Estas consideraciones llegan a impactar en la calidad de la cobertura de radio que se ofrece en cada celda.

1.3.1.2. Radio de cobertura

El diseño de la cobertura en interiores debe ser con cuidado, ya que los diferentes ambientes como paredes, pisos, y vidrios llegan a variar la cobertura dependiendo de la estructura y la naturaleza de los elementos. Dado este escenario, se toma en cuenta el modelo en la recomendación P.1238 de la UIT-R: datos de propagación y métodos de predicción para el planteamiento de sistemas de radiocomunicación en interiores y redes de área local de frecuencia 900 Mhz a 100 Ghz. Dicha recomendación se tomará en cuenta para los enlaces de radio y la cobertura inalámbrica.

Figura 4. **Cálculo para pérdida total del camino**

$$L = 20 \log f + N \log d + P_f(n) - 28$$

L = Pérdida total en el camino (dB)
f = Frecuencia de transmisión (MHz)
d = Distancia (m)
N = Coeficiente de Pérdida de Potencia
n = Número de pisos entre el transmisor y el receptor
P_f(n) = Factor de penetración de pérdidas de obstáculos

Fuente: *Repicomca*. http://www.repicomca.com/inforadios/cont_inforadios_05.htm.

Consulta 20 de agosto de 2014.

Los coeficientes de factor de penetración y de pérdida en la fórmula serán calculados a partir de las características del ambiente de propagación y la frecuencia en la que opera la tecnología inalámbrica. Más adelante se podrá ver que este ambiente es un área típica de oficinas con vidrios, paredes y piso, como obstáculos a la propagación.

Tabla III. **Áreas cobertura de distintas frecuencias**

Banda de Frecuencia	Área Residencial	Área de Oficina	Área Comercial
900 MHz	N/A	33	20
1.2 GHz	N/A	32	22
1.3 GHz	N/A	32	22
1.8 GHz	28	30	22
4 GHz	N/A	28	22

Fuente: Repicomca. http://www.repicomca.com/inforadios/cont_inforadios_05.htm. Consulta 20 de agosto de 2014.

1.3.1.3. Capacidad

Hoy en día el diseño de la red usando Wi-Fi aplicado a una red WLAN, posee un problema que recae casi totalmente en el rango de cobertura que puede tener la red, cuando se despliega un alto tráfico de datos en la red; debido a que las comunicaciones de los usuarios se dan en tiempo real como telefonía o video, es necesario tomar en cuenta la cantidad de usuarios y la capacidad de la red para poder garantizar esta comunicación de los usuarios en tiempo real.

A través del uso del medio inalámbrico se ha podido comprobar que se pueden ofrecer hasta 54 Mbps como velocidad de transmisión; puede llegar a pensarse que no habría ningún problema en lo que a disponibilidad de ancho de banda se refiere, tal como sucede con las redes de 100 Mbps (*Fast-Ethernet*); es cuando se debe tomar en cuenta uno de los problemas del medio inalámbrico, ya que este es muy susceptible a la interferencia y aún más cuando se trata de una banda sin protección y sin licencia.

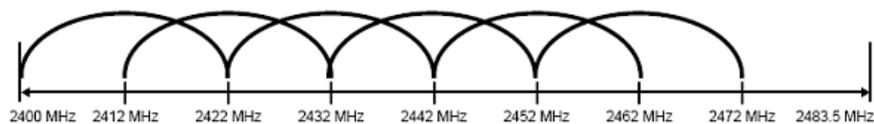
Este escenario llega a afectar fuertemente a la tasa efectiva de transmisión y si se toman en cuenta las colisiones, la interferencia y las varias solicitudes de los usuarios por querer acceder, hay que prestarle atención a la capacidad efectiva que estos obtienen.

En la siguiente figura se muestran los canales cuando no se traslapan, que ofrece el estándar 802,11, no de los puntos fuertes del estándar que pueden hacer uso simultáneo de los 23 canales sin tener ningún traslape entre ellos. Cabe mencionar que algunos dispositivos no pueden hacer uso de los 23 canales simultáneamente, pero se garantiza que se haga uso de por lo menos 12 canales.

Figura 5. **Muestra de cuando no o cuando si el traslape de canales**

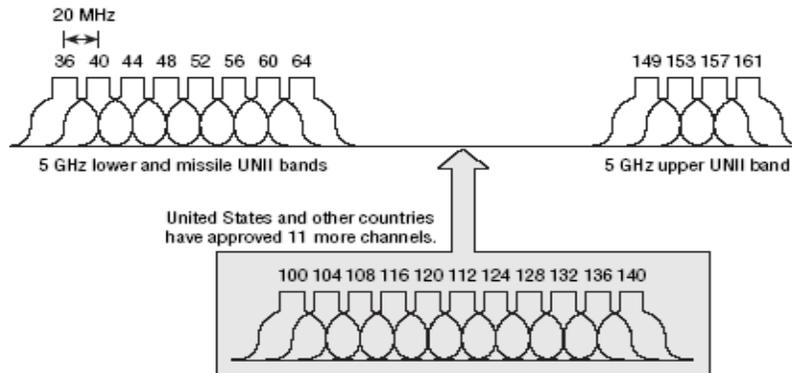


Figure 141—North American channel selection—non-overlapping



Fuente: *Madmini*. <https://madmimi.com/s/493fe4>. Consulta: 21 de agosto de 2014.

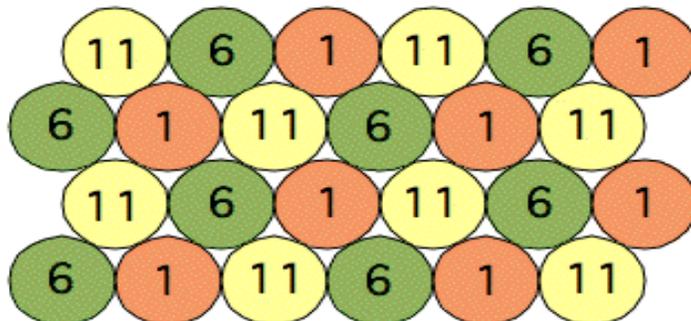
Figura 6. **Muestra del uso de por lo menos 12 canales**



Fuente: *Madmimi*. <https://madmimi.com/s/493fe4>. Consulta: 21 de agosto de 2014.

El estándar que mayor tiene ventaja es el 802.11^a debido a que soporta los 23 canales sin traslape y permite de manera considerable la capacidad de la red de poder brindar el uso de la red a los usuarios, y el acceso a mejores y más servicios, aumentando el rendimiento y optimización de la red mediante el reuso de la frecuencia. Lo anterior se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 7. **Muestra del uso de 23 canales sin traslape**



Fuente: *Networking Computing*. <http://www.networkcomputing.com/wireless-infrastructure/dynamic-frequency-selection-part-3-the-channel-dilemma/a/d-id/1234489>.

Consulta 25 de agosto de 2014.

En conclusión, el estándar 802.11^a es el que mejor capacidad ofrece a la red y seguramente será el que impulse las aplicaciones de banda ancha en los próximos años. Sin embargo existe el problema de su incompatibilidad con los sistemas tradicionales, ya que ha impedido el gran despliegue de este estándar a comparación del 802.11g que ha sido adoptado por más redes; por lo cual la disponibilidad en el mercado de dispositivos que manejen 802.11^a es relativamente menor en comparación con los demás estándares.

1.4. Voz sobre IP (VoIP)

Muy comúnmente llamado VoIP; se refiere a una serie de recursos que permiten que las señales de voz viajen a través de internet empleando el protocolo IP (Protocolo de Internet). Esto significa que la señal de la voz se envía de forma digital (como paquetes de datos), en vez de enviarla en forma analógica a través de circuitos que se utilizan solo en telefonía convencional como la red PSTN.

Los protocolos que permiten enviar señales de voz sobre la red IP son conocidos como protocolos de voz sobre IP. Estos pueden verse como aplicaciones a los experimentos que se usaron cuando se creó la ARPANET (red experimental de protocolos de voz). El tráfico de voz sobre IP es adaptable sobre cualquier red IP, incluyendo aquellas conectadas a internet, como por ejemplo la red de área local LAN. Muchas veces puede confundirse voz sobre IP y telefonía sobre IP.

- Telefonía sobre IP es un servicio telefónico que está disponible al público, aplicando la tecnología de VoIP.
- VoIP es un conjunto de normas, dispositivos, protocolos, que se unen en una tecnología que permite comunicar voz sobre el protocolo IP.

El cliente establece y origina las llamadas de voz; estos paquetes de información se reciben a través del micrófono del usuario (fuente de información) se codifica y empaqueta, y de la misma forma se codifica y reproduce a través de los altavoces o audífonos (salida de información). Esto se logra con el desarrollo de nuevas tecnologías, cuyo fin es el mejoramiento de los *códecs* que se usan, latencia o retardo (el cual no debe superar 150 ms); al darle prioridad de tráfico de la voz sobre los datos, se podría pensar en IPv6, cuyo objetivo es mejorar el rendimiento de todo lo que se relaciona con la calidad del servicio.

1.4.1. Telefonía IP

La telefonía IP es el servicio que se presta sobre una red IP normal, por medio del uso de la tecnología de VoIP para la parte de señalización y la transmisión de voz. El objetivo de este sistema de telefonía es cubrir las funcionalidades y características que ofrecen los tradicionales sistemas de telefonía.

Bajo este planteamiento se conforma una plataforma para el flujo de media y otra para control. Dado que existen numerosos tipos de tecnología para poder cumplir las necesidades de ambas plataformas, algunas son tecnologías abiertas y otras, privadas. Las tecnologías definidas para la plataforma de control tienen la función de señalar la red: establecimiento, modificación y terminación de llamadas. Existen 3 protocolos que se usan bastante en las redes de comunicaciones hoy en día:

- H.protocolo definido por la ITU-T, establece el mecanismo necesario de llamada para permitir a un controlador media *Gateway* y el control de puertas de enlace para soporte de llamadas de voz.

- SIP: el protocolo SIP es el estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como la voz, el video y mensajería instantánea, juegos en línea y realidad virtual.
- IAX: es un protocolo utilizado por Asterisk, un servidor PBX (central telefónica) de código abierto. Es utilizado para manejar conexiones VoIP entre servidores Asterisk, y entre servidores y clientes que también utilizan protocolo IAX.

Los últimos 2 protocolos mencionados se detallarán más adelante, ya que serán los utilizados para el desarrollo del presente diseño. Hoy en día el protocolo H.323 se ha desarrollado ampliamente y se ha definido como el principal para señalización en numerosos sistemas VoIP; hasta se podría decir que gran parte del tráfico de VoIP a nivel mundial es llevado utilizando el protocolo H.323. Dado que H.323 es más complejo que el resto de protocolos y sus aplicaciones son difíciles de usar y no ayudan a la escalabilidad, no se considera para este diseño.

Otros protocolos que salen a escena son:

- RTP: protocolo definido por la IETF para el manejo del transporte de voz y video en tiempo real.
- RTCP: protocolo definido por la IETF para el control del flujo RTP.

Se utilizan los dos protocolos en conjunto por medio de canales distintos para su funcionamiento. Los protocolos RTP y RTCP son utilizados para el control de flujo de media en los sistemas SIP y H.323 pero no para IAX.

IAX utiliza un solo protocolo para el control de la señalización y el flujo de media, con el objetivo de darle una solución a los problemas que presentan algunas de las tecnologías en el mundo real.

1.4.2. SIP

Es el estándar para la iniciación, modificación, y finalización de sesiones interactivas del usuario donde utiliza elementos de multimedia como juegos, video, mensajería, voz, entre otros. Protocolo de inicio de sesiones (SIP) usa de gran manera los beneficios de IP, añadiendo inteligencia a sus procesos de negocios y dando tanto a los usuarios como a las empresas, el control sobre las comunicaciones que manejan. El protocolo SIP es compatible con las comunicaciones en tiempo real de cualquier tipo, restando importancia si son del tipo video, mensajes instantáneos, voz o alguna aplicación.

SIP ofrece una característica que permite a los usuarios informar a los demás sobre su estado y la manera en que los puede contactar; esto se puede hacer incluso antes de que inicie la sesión.

Cada cliente o integrante de la red SIP por medio de una dirección llamada URL SIP, en el cual el proceso de autenticación se lleva a cabo por medio de un conjunto de respuestas que están en código binario, algo parecido a http. Si el usuario destino no se puede localizar se envía un código de respuesta *-404 Not Found-*. Un mensaje de SIP está compuesto por cabeceras o *"headers"*, igual como sucede en SMTP. Entonces, se concluye que SIP es también un protocolo que utiliza texto. Ya establecida la sesión los participantes de la misma, pueden intercambiar mensajes del tipo que sea por medio del protocolo RTP (*Real -Time Transport Protocol*).

El protocolo SIP no almacena recursos, por lo tanto no puede asegurar el Q&A. Este no es un protocolo de control del medio sino uno de control de llamada. SIP tampoco hace transferencia de ficheros tipo http, el cual es usado para transportar grandes ficheros de datos. El protocolo SIP ha sido creado para que pueda transmitir mensajes de señalización con el fin de crear, mantener y finalizar las sesiones multimedia. Incluso, mensajes tipo SMS, no relacionados con la llamada, también pueden ser transportados por SIP.

1.4.2.1. Entidades SIP

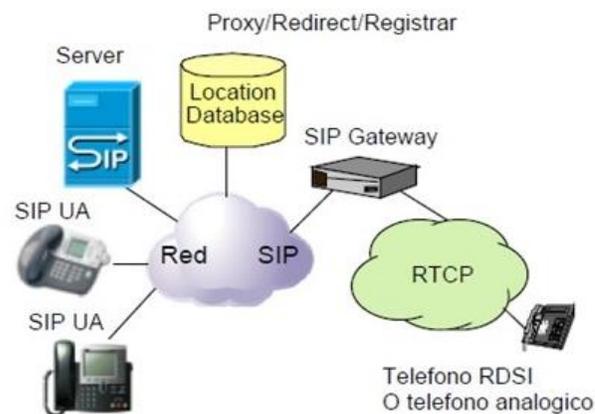
Una red de SIP está compuesta por las siguientes entidades:

- **Servidor Proxy:** su función es recibir las solicitudes de los clientes que el servidor trata o los envía hacia otros servidores, después de haber trabajado previamente con dichas solicitudes.
- **Servidor de redireccionamiento:** es un servidor que acepta las solicitudes SIP, traduce la dirección SIP de destino en una o varias direcciones de red y las retorna hacia el cliente. Contrario a lo que es el servidor Proxy, el de direccionamiento no rutea las solicitudes de SIP. Cuando es el caso de una devolución de la llamada, el servidor Proxy es capaz de traducir el número de destinatario que se recibió del mensaje SIP en un nuevo número de reenvío de llamada y rutear la llamada a este nuevo destino; esto se hace de manera transparente para el cliente. El servidor de redireccionamiento retorna el nuevo número al cliente origen, quien se encarga de establecer una nueva llamada hacia este nuevo destino.
- **Agente usuario (UA):** es una aplicación sobre un dispositivo del usuario que envía y recibe solicitudes SIP. Por medio de un software sobre el

dispositivo del usuario que puede ser una PC, un teléfono IP o una estación móvil UMTS.

- Registrador: es un servidor el cual acepta las solicitudes SIP *Register*. El protocolo SIP dispone de un registro de usuario; el usuario indica por medio de un mensaje *Register* hacia el registrador, la dirección donde es localizable (dirección IP). El registrador hace una actualización a la base de datos de localización. Es una función que va asociada a un servidor Proxy a uno de redireccionamiento. Un solo usuario puede hacer su registro sobre varias UA's, si este es el caso, la llamada será entregada sobre el conjunto de estas.

Figura 8. **Dispositivos de una red SIP**



Fuente: AAPT. <https://aapt.com.au/ws-sip-trunking-isdn-voice-replacement-aapt-white-paper>.

Consulta: 11 de septiembre de 2014.

SIP ha sido extendido con el fin de soportar numerosos servicios avanzados tales como presencia, mensajería instantánea (similar a lo que ocurre con SMS) transferencia de llamada, conferencia, servicios que son complemento a la telefonía.

SIP ha sido seleccionado por 3GPP para la arquitectura IMS o IP Multimedia Subsystem como protocolo para el control de servicio y de sesión. En la actualidad SIP está reemplazando a los protocolos ISUP, los cuales son usados para el control de las llamadas en la red telefónica e INAP, y del servicio en la red inteligente.

1.4.2.2. Métodos SIP

El RFC 3261 define 6 requerimientos o solicitudes SIP. El método INVITE tiene como fin establecer una sesión entre UA's. INVITE corresponde al mensaje ISUP IAM y en él contiene la información sobre el usuario que genera la llamada y el usuario destino, así como el tipo de información que se intercambian entre ellos (voz, video, entre otros).

Al momento de que un UA envía un INVITE, este recibe una respuesta final a la invitación (ejemplo: 200 ok), la confirmación de la recepción de esta respuesta la da por medio de una ACK. Un tipo de respuesta como *BUSY* o *ANSWER* se considera como final, mientras una del tipo *RINGING* se considera que el usuario tiene el aviso de la llamada.

El método *BYE* permite que la sesión establecida anteriormente sea finalizada. En el protocolo ISUP corresponde al mensaje *RELEASE*. El mensaje *BYE* puede ser emitido tanto por el usuario que origina la llamada como por el que la recibe.

El método *REGISTER* es usado por UA, cuyo objetivo es avisar al registrar la correspondencia entre su dirección SIP y la dirección de usuario a contactar.

El método *CANCEL* se utiliza para pedir el abono de la llamada que está establecida, porque no tiene ningún efecto sobre la llamada, la cual ya fue aceptada. De hecho, el método *BYE* es el único que puede finalizar la llamada establecida.

El método *OPTIONS* se utiliza para interrogar el estado y de qué es capaz un servidor o un *User Agent*. La respuesta contiene las características del UA como por ejemplo indisponibilidad o el idioma soportado.

1.4.2.3. *Session Description Protocol*

Es un protocolo que permite describir sesiones *multicast* en tiempo real, siendo útil para las invitaciones, anuncios, y cualquiera otra forma de inicio de sesiones.

La propuesta original de SDP fue diseñada para anunciar información necesaria para los participantes y para aplicaciones de multicast MBONE (Multicast Backbone). Actualmente, su uso está extendido para el anuncio y la negociación de las capacidades de una sesión multimedia en Internet.

Puesto que SDP es un protocolo de descripción, los mensajes SDP se pueden transportar mediante distintos protocolos con SIP, SAP, RTSP, correo electrónico con aplicaciones MIME o protocolos HTTP. Como el SIP, el SDP utiliza la codificación del texto.

Un mensaje del SDP se compone de una serie de líneas denominadas campos, donde los nombres son abreviados por una sola letra, y están en un orden requerido para simplificar el análisis. El SDP no fue diseñado para ser fácilmente extensible.

La única manera de ampliar o de agregar nuevas capacidades al SDP es definir un nuevo atributo. Sin embargo, los atributos desconocidos pueden ser ignorados. En la tabla siguiente se pueden observar todos los campos.

Figura 9. **Glosario de una sesión SIP**

<p>Descripción de la sesión</p> <p>v= (Versión del protocolo)</p> <p>o= (Origen e identificador de sesión)</p> <p>s= (Nombre de sesión)</p> <p>i=* (Información de la sesión)</p> <p>u=* (URI de descripción)</p> <p>e=* (Correo electrónico)</p> <p>p=* (Número telefónico)</p> <p>c=* (Información de conexión)</p> <p>b=* (Cero o más líneas con información de ancho de banda)</p> <p>Una o más líneas de descripción de tiempo (Ver abajo "t=" y "r=")</p> <p>z=* (Ajustes de zona horaria)</p> <p>k=* (Clave de cifrado)</p> <p>a=* (Cero o más líneas de atributos de sesión)</p> <p>Cero o más descripciones de medios</p>
<p>Descripción de tiempo</p> <p>t= (Tiempo durante el cual la sesión estará activa)</p> <p>r=* (Cero o más veces de repetición)</p>
<p>Descripción de medios, si está presente</p> <p>m= (Nombre de medio y dirección de transporte)</p> <p>i=* (Titulo)</p> <p>c=* (Información de conexión)</p> <p>b=* (Cero o más líneas con información de ancho de banda)</p> <p>k=* (Clave de cifrado)</p> <p>a=* (Cero o más líneas de atributos de sesión)</p>

Fuente: elaboración propia.

1.4.2.4. **Real-time Transport Protocol**

Es un protocolo de nivel de sesión utilizado para la transmisión de información en tiempo real, que podría ser audio y video en una videoconferencia. El protocolo está desarrollado por el grupo de trabajo de transporte de audio y video del IETF.

Inicialmente se publicó como protocolo *multicast*, sin embargo este se ha usado en varias aplicaciones *unicast*. Se usa frecuentemente en sistemas de *streaming*, junto RTSP, videoconferencia y sistemas *push to talk*, (en conjunción con H.323 o SIP). Representa también la base de la industria de VoIP.

Luego de RTP se definió a SRTP (*Secure Real Time Potocol*) que es una extensión de RTP, la cual permite por ejemplo realizar conferencias de audio y video que pueden usarse opcionalmente para dar confidencialidad, autenticación de mensajes y protección de reenvío a las videoconferencias.

Tabla IV. **Tabla de *stack* de RTP**

Byte 0		Byte 1		Byte 2		Byte 3	
V	P	X	CC	M	PT	Sequence Number	
Time Stamp							
Synchronization Source (SSRC)							
Content Source (CSRC)							
Extension header (EH - opcional)							
Datos							

Fuente: elaboración propia.

- Número de versión de RTP (*V - versión number*): 2 bits. La versión definida por la especificación actual es 2.
- Relleno (*P - Padding*): 1 bit. Si el bit del relleno está activado, hay uno o más *bytes* al final del paquete que no son parte de la carga útil. El último byte del paquete indica el número de *bytes* de relleno. El relleno es usado por algunos algoritmos de cifrado.

- La extensión (X - Extensión): 1 bit. Si el bit de extensión está activado, entonces el encabezado fijo es seguido por una extensión del encabezado. Este mecanismo de la extensión posibilita implementaciones para añadir información al encabezado RTP.
- Conteo CSRC (CC): 4 bits. El número de identificadores CSRC que sigue el encabezado fijo. Si la cuenta CSRC es cero, entonces la fuente de sincronización es la fuente de la carga útil.
- El marcador (M - *Marker*): 1 bit. Un bit de marcador definido por el perfil particular de media.
- Tipo de carga útil (PT - *Payload type*): 7 bits. Es un índice en una tabla de los perfiles de media que describe el formato de carga útil. Los mapeos de carga útil para audio y vídeo están especificados en el RFC 1890.
- El número de secuencia: 16 bits. Un único número de paquete que identifica la posición de este en la secuencia de paquetes. El número del paquete es incrementado en uno para cada paquete enviado.
- Sellado de tiempo: 32 bits. Refleja el instante de muestreo del primer byte en la carga útil. Varios paquetes consecutivos pueden tener el mismo sellado si son lógicamente generados en el mismo tiempo; por ejemplo, si todos son parte del mismo *frame* de vídeo.
- SSRC: 32 bits. Identifica la fuente de sincronización. Si la cuenta CSRC es cero, entonces la fuente de carga útil es la fuente de sincronización. Si

la cuenta CSRC es distinta a cero, entonces el SSRC identifica el *mixer* (mezclador).

- CSRC: 32 bits cada uno. Identifica las fuentes contribuyentes para la carga útil. El número de fuentes contribuyentes está indicado por el campo de la cuenta CSRC; allí puede haber más de 16 fuentes contribuyentes. Si hay fuentes contribuyentes múltiples, entonces la carga útil corresponde a los datos mezclados de esas fuentes.
- EH: el tamaño de este dato debe ser $CC \times 32$ en bits.
- Datos: el tamaño de los datos debe ser de $X \times ((EHL + 1) \times 32)$ donde EHL es la longitud de la extensión de la cabecera en unidades de 32 bits.

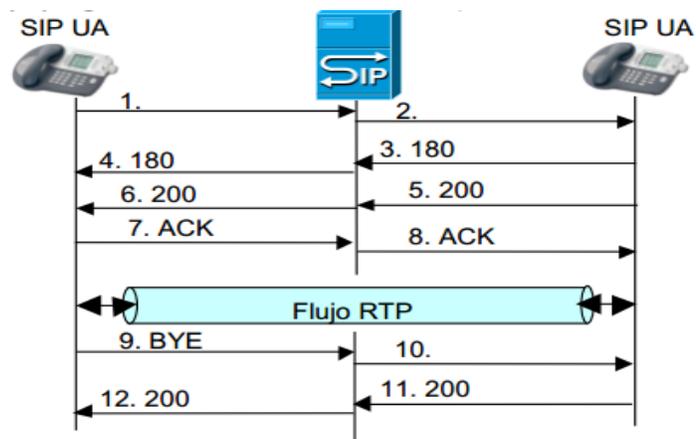
1.4.2.5. Llamadas SIP

Un mensaje de establecimiento de llamada SIP INVITE está emitido por parte de la UA SIP del que llama al Proxy server. Este último interroga la base de datos de localización para identificar la localización del que está llamando (dirección IP) y encamina la llamada a su destino.

El mensaje INVITE contiene distintos “headers” o encabezamientos obligatorios, entre los cuales la dirección SIP de la persona que llama “From”, la dirección SIP de la persona que recibe la llamada “To”, una identificación de la llamada “Call-ID”, un número de secuencia “Cseq”, un número máximo de saltos “max-forwards”. El encabezamiento “Vía” está actualizado por todas las entidades que participaron al enrutamiento del requerimiento “INVITE”. Eso asegura que la respuesta seguirá el mismo camino que el requerimiento.

Por otra parte, el requerimiento SIP INVITE contiene una sintaxis “*Session Description Protocol*” o SDP. Esta estructura consiste en varias líneas que describen las características de media que se necesitan para la llamada. Indica que la descripción SDP utiliza la versión 0 del protocolo, que se trata de una sesión telefónica (m = audio), que la voz constituida en paquetes le debe ser entregada a la dirección de transporte (puerto) UDP = 45450, con el protocolo RTP y utilizando un formato de codificación definido en el RFC.

Figura 10. Diagrama de señalización SIP



Fuente: Cisco. http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/voice_ip_comm/bts/6-0/protocol/guide/SIP60/20sipovw.html. Consulta 15 de septiembre del 2015.

1.4.3. Inter Asterisk eXchange

IAX o Inter Asterisk eXchange es un protocolo utilizado por Asterisk. Se usa para el manejo de las conexiones VoIP entre los servidores Asterisk o entre servidores Asterisk y clientes que también utilizan IAX como protocolo de conexión IAX, generalmente como protocolo IAX2, debido a que la primera versión del protocolo ha quedado obsoleta.

IAX2 es un protocolo bien estructurado, el cual posee varias novedades, ya que permite controlar un gran número de *streams* así como varios tipos de códecs; lo que significa que está diseñado para manejar cualquier tipo de dato. Esta característica permite realizar presentaciones remotas, así como videoconferencias. La función del protocolo IAX es darle prioridad a los paquetes de voz sobre una red IP.

En IAX2 se debe utilizar un solo puerto UDP que es el 4569, para las comunicaciones entre clientes o terminales para datos y señalización. En *inband* es transmitido el tráfico de la voz, lo que hace casi transparente IAX2 a los *firewalls* y eficaz dentro de redes internas a diferencia de SIP, el cual debe utilizar una cadena RTP *out-of-band* para la entrega de información.

Tiene la capacidad de soportar *trunking*, donde en un simple enlace permite enviar señalización y datos por múltiples canales. Los datos de múltiples llamadas son administrados como un solo conjunto de paquetes; es decir que para esto, es un datagrama de IP puede entregar para más llamadas sin crear latencia en la red.

Es una gran ventaja en el mundo de VoIP, en donde los encabezados de los paquetes IP son un gran porcentaje del ancho de banda utilizado.

El protocolo IAX puede crear sesiones internas, las cuales pueden utilizar cualquier tipo de códec que puede transmitir voz y video. Esencialmente provee transmisión y control de los flujos de datos multimedia. IAX es un protocolo bastante flexible, ya que puede ser utilizado para transmitir cualquier tipo de dato como video.

El objetivo principal de IAX ha sido reducir el ancho de banda utilizado en la transmisión de video y voz por medio de la red IP, poniendo especial énfasis en el control de las llamadas de voz y proporcionando un soporte para ser transparente a NAT. La estructura de IAX se fundamenta en la señalización y el flujo de datos sobre un mismo puerto UDP. Es un protocolo binario que está diseñado de manera que reduzca la cantidad de carga de los flujos de datos de voz. Al momento de suministrar mayor ancho de banda para VoIP, si es necesario, se sacrifican otras aplicaciones.

1.4.3.1. Arquitectura de IAX

Fue diseñado como un protocolo de conexiones VoIP entre servidores Asterisk y para conexiones entre clientes y servidores que soporten el protocolo. Los objetivos de IAX son:

- Soporte para transmitir planes de marcación.
- Evitar problemas con NAT.
- Reducir el ancho de banda utilizado para las transmisiones de control y multimedia VoIP.

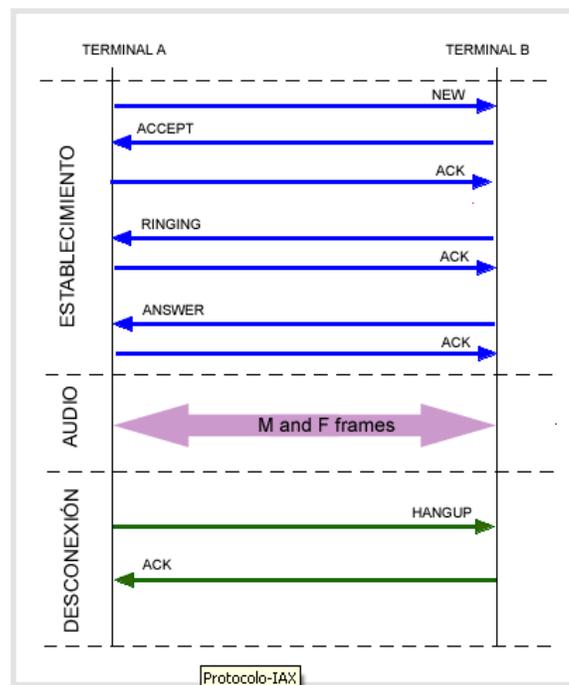
La medida para reducir el ancho de banda es que protocolo IAX es binario en lugar de ser un protocolo de texto como SIP y que permite que los mensajes usen menos el ancho de banda.

Para no tener problemas con NAT el protocolo usa como protocolo de transmisión el UDP que normalmente es el 4569 y tanto la información de datos como la de señalización viajan conjuntamente, lo que hace menos propenso a tener problemas con NAT y le permite pasar a través de los *firewalls* y los *routers* de manera sencilla.

1.4.3.2. Funcionamiento de IAX

Para poder tener una idea más clara del funcionamiento de IAX, puede verse un ejemplo del flujo de datos en una comunicación.

Figura 11. Flujo de comunicación de protocolo IAX



Fuente: *Elastixtech*. <http://elastixtech.com/protocolo-iax/>. Consulta: 20 de septiembre de 2014.

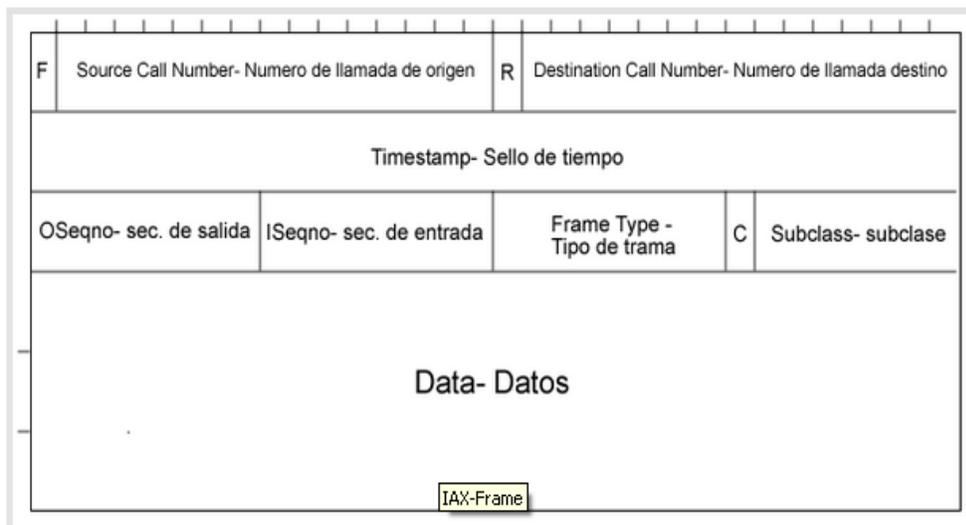
El flujo de datos se establece a través de:

- Establecimiento de la llamada: el terminal A inicia la comunicación y manda un mensaje "new". El terminal al cual se llama debe responder con "accept" y el que llama responde con "ack". A continuación el terminal llamado da el tono "ringing" y el que llama responde lo hace con un "ack", confirmando la recepción del mensaje. Por último el terminal

llamado acepta la llamada con un “*answer*” y el llamante confirma el mensaje.

- Flujo de datos o flujo de audio: se envían los *frames* M y F en los dos sentidos con la información de voz. Los *frames* son *miniframes* que contienen solo un encabezado de 4 *bytes* para reducir el uso del ancho de banda. Los *frames* F son completos; incluyen información de sincronización. Cabe recordar que IAX utiliza en el flujo el mismo protocolo UDP que usan los mensajes de señalización, evitando de esta manera problemas con NAT.
- Liberación de la llamada: la liberación de la conexión es solo enviar un mensaje de “*hangup*” y confirma dicho mensaje. Los mensajes en IAX son binarios, en los mismos cada bit o conjuntos de bits tienen un significado. A continuación el formato binario de una trama F en IAX2.

Figura 12. **Formato binario de una trama F en IAX2**

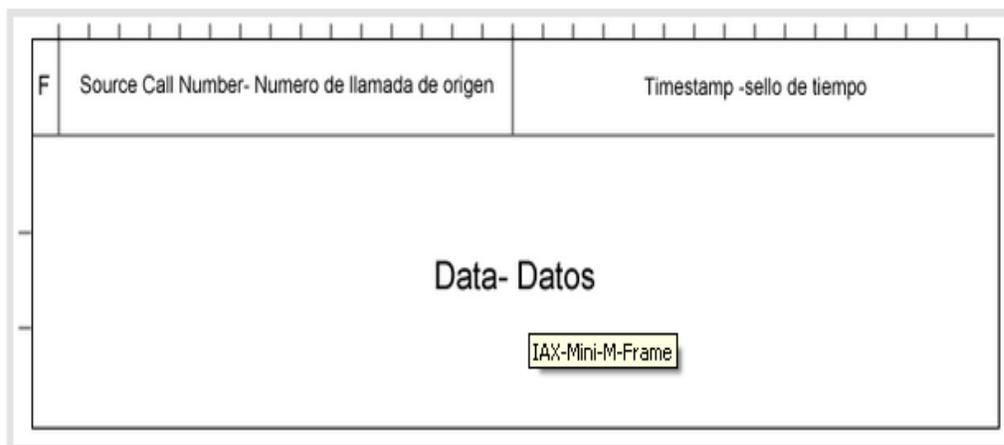


Fuente: *Elastixtech*. <http://elastixtech.com/protocolo-iax/>. Consulta: 21 de septiembre de 2014.

F es un bit que indica si la trama es *full* o no. Para que sea *full* la trama debe estar en 1. R es un bit de retransmisión se pone a uno cuando la trama es transmitida. El *timestamp* marca el tiempo de cada paquete. OSeqno es el número de secuencia de salida de 8 bits. ISeqno es el número de secuencia para la entrada de 8 bits. *Frame type* indica la clase de trama de la que se trata. C señala la subclase del mensaje.

- Tramas M o *miniframes*: las tramas M son para enviar información con la menor posible en el encabezado. Las mismas no tienen por qué enviar una respuesta, si se da el caso de que se pierde se descarta.

Figura 13. **Formato binario de una trama M**



Fuente: *Elastixtech*. <http://elastixtech.com/protocolo-iax/>. Consulta 22 de septiembre de 2014.

El significado es similar al de las tramas F. En el caso del bit F está puesto a 0 y el *timestamp* está truncado y solo tiene 16 bits para aligerar la cabecera.

2. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

En el siguiente capítulo se proponen los detalles de una estructura y requerimientos de cualquier empresa donde se podría realizar el diseño de la red de datos y voz unificada.

2.1. Perfil de una empresa

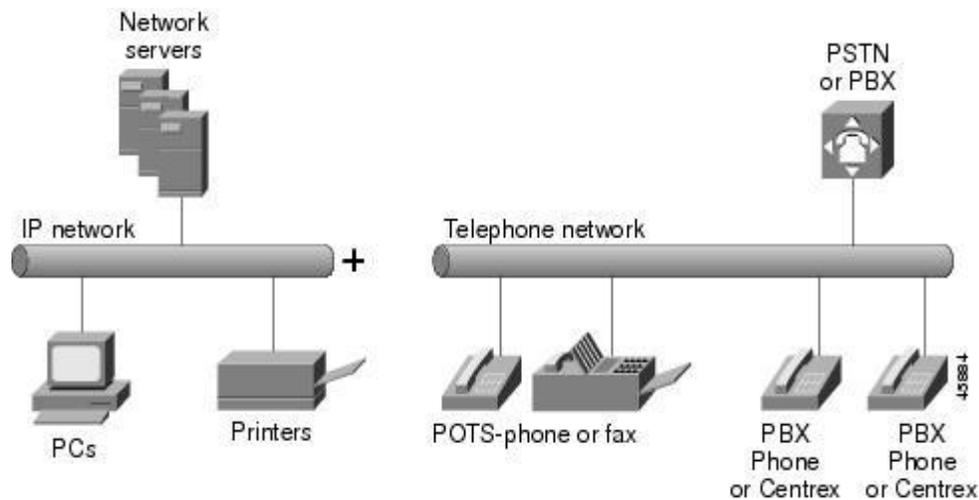
Una empresa cuyas operaciones comerciales son centralizadas y se llevan a cabo en un edificio que se constituye como la sede central de la empresa, las comunicaciones telefónicas son el medio principal por el cual se comunica con sus proveedores y clientes, por lo que necesita de un sistema de telefonía con gran eficiencia y confiabilidad.

2.2. Arquitectura de la red

Una red de voz normalmente está basada en un sistema de PBX común, al cual todos los teléfonos y faxes de los usuarios se conectan. Una central privada se conecta a una PSTN mediante un enlace de E1 (30 canales) que provee el operador local. Posee un sistema de correo de voz para el almacenamiento de mensajes y atención cuando no están disponibles los usuarios.

Una red de datos comúnmente está constituida por una red LAN Ethernet/IP con una conexión de 2 Mbps a internet el cual lo provee el operador local.

Figura 14. Ejemplo de arquitectura de red



Fuente: *VoIP Info*. <http://www.voip-info.org/wiki/view/MOR>. Consulta: 28 de septiembre de 2014.

El problema se presenta en el hecho de utilizar sistemas propietarios que no son nada amigables y flexibles al momento de ser utilizados y que dificultan la escalabilidad tanto económicamente como técnica.

2.3. Requerimientos de servicio

Muchas veces los requerimientos de las empresas son la elevada confiabilidad de la red y la seguridad que debe de tener la red a desarrollarse.

A continuación algunos requerimientos de las empresas sobre el sistema que debe implementarse, así como algunos puntos a tomar en cuenta sobre la convivencia con las distintas aplicaciones de la red de datos.

2.3.1. Servicios de telefonía

Varios servicios los cuales son proporcionados por una PBX, una empresa puede requerir que estos se sigan brindando para poder disminuir el impacto del cambio en los usuarios. Estos servicios pueden ser:

- Marcado rápido
- Recogida de llamada
- Llamada de vuelta
- Llamada en espera
- Desvío de llamada
- Música en espera
- Transferencia de llamada
- Historial de llamadas
- Operadora

El sistema de correo de voz proporciona los principales servicios como los indicadores de mensajes en espera, notificación de mensajes, servicio de directorio, buzones grupales, entre otros. Además, al prepararse para un sistema de telefónica basado en IP se espera contar con los servicios siguientes:

- Soporte para *Softphones*
- Movilidad
- Múltiples líneas por teléfono
- Consola de configuración
- Soporte para conferencia

2.3.2. Servicio de datos

Las aplicaciones principales que son utilizadas por los usuarios son: acceso a base de datos, correo electrónico y almacenamiento, servicio web y transferencia de archivos. Respecto de los servicios de este tipo, no hay más especificaciones, tan solo llegar a lograr la convivencia de las aplicaciones de datos y voz sin problemas.

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo se propone el diseño de un sistema de telefonía basado en IP que puede aplicarse a una empresa. A continuación se cubren los aspectos como la implementación y el desarrollo en aplicaciones de telefonía, considerando todo lo necesario para la propia red IP.

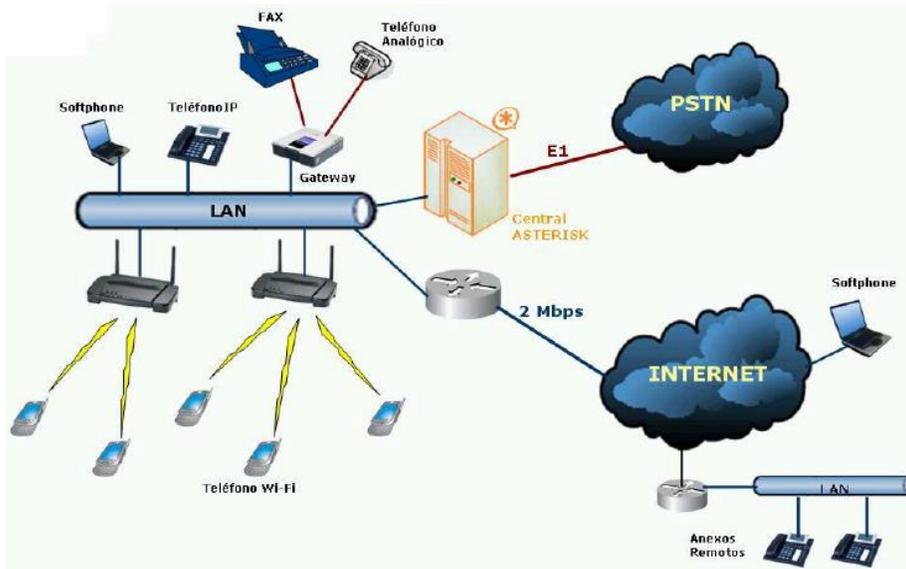
3.1. Arquitectura de la red

Una propuesta de la arquitectura de una red es una red jerárquica, en la cual se toman en cuenta los niveles de conmutación de paquetes IP para poder obtener los niveles adecuados respecto de la eficiencia y la calidad de servicio en el sistema, sin olvidar la confiabilidad y la redundancia.

A continuación se muestra la propuesta del sistema a implementar, la cual se podría dividir de manera funcional de la siguiente manera:

- Planta externa, compuesta por la red de acceso inalámbrica para los nodos de la red LAN, los conmutadores y teléfonos.
- Red de acceso: formada por las líneas troncales SIP y líneas digitales, las cuales van hacia el proveedor de VoIP.
- Asterisk, que es la central de conmutación.

Figura 15. **Arquitectura de red PSTN e internet**



Fuente: IPPBXVeksa. <http://ippbxveska.blogspot.com/2014/10/ip-pbx-design.html>. Consulta: 8 de octubre de 2014.

3.2. Asterisk (central de conmutación)

Asterisk es la central de conmutación; el núcleo de conmutación es un servidor Linux así como los diferentes complementos que pueden ser los módulos (Zaptel y Libpri) que hacen que se pueda interactuar con la PSTN y los sistemas de telefonía tradicional. Adicional a esto se utilizan herramientas de código abierto para poder hacer más fácil la administración y la gestión del software y el sistema de telefonía.

A continuación se detallan los principales requisitos de hardware sobre el cual se está corriendo la central de conmutación. Los requisitos se proponen con base en los niveles de tráfico y un estimado del consumo de recursos. El hardware para este servidor será probado y monitoreado para asegurar los mínimos niveles de servicios específicos.

3.2.1. Códex y señalización

El estándar SIP es el protocolo de señalización VoIP que se usará. SIP es la tecnología que más ha sido desarrollada y difundida en el mundo de la telefonía IP. De manera paralela se puede adicionar a esto el usar el protocolo IAX para el acceso remoto de los usuarios que utilicen *softphones* o para interconectar la central de conmutación Asterisk secundaria con una principal.

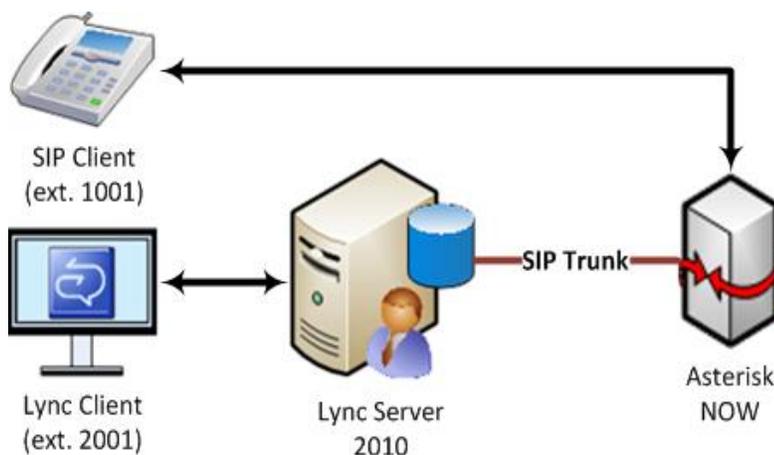
El G.711 es el códec principal que se utilizará, ya que será usado en la red interna debido a su gran rendimiento en relación con la calidad de voz y tomando en cuenta que una red basada en Ethernet LAN se cuenta con 100 Mbps de ancho de banda. De manera alternativa se utilizará el códec GSM, si se presentara el caso de necesitar cambios en el ancho de banda de la red LAN y las troncales en los cuales existe un flujo de RTP hacia los proveedores de VoIP, ya que se necesitarán recursos de internet.

3.2.2. Uso de la central

Una empresa normal (mediana empresa, ni pequeña ni grande) puede llegar a tener determinada cantidad de llamadas simultáneas; en las empresas medianas se da una cantidad promedio de 26 llamadas simultáneas que maneja la central. Asterisk, la central de conmutación, debe manejar la empresa con base en una media de 26 llamadas simultáneas. Lo que condiciona la cantidad que maneja la cantidad de llamadas simultáneas es el hardware del servidor CPU; de acuerdo con la capacidad del hardware del servidor Asterisk, así son las llamadas que puede manejar sin llegar a sobrecargarse y colapsar, y se pierdan las mismas.

Se utiliza una herramienta que permite monitorear el rendimiento de uso de CPU del servidor Asterisk al momento de que se originen paquetes de solicitud de establecimiento de llamadas. De esta manera se puede determinar a cuántas llamadas simultáneas el CPU del servidor empieza a sobrecargarse y colapsar, y es en ese número que se establece el límite de llamadas máximas permitidas simultáneamente.

Figura 16. **Flujo de señalización entre el servidor Asterisk y clientes**



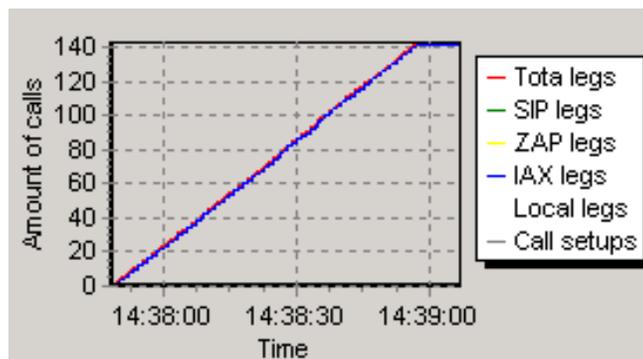
Fuente: AyokSystems. <http://www.ayokasystems.com/research-and-insights/technologies/asterisk-ivr-voip>. Consulta 2 de noviembre de 2014.

Una herramienta de monitoreo es Astertest, la cual es una aplicación que se puede probar sobre Windows en donde se está cargando el servidor de Asterisk.

Cabe mencionar que este debe ser usado en una red VoIP. Para poder realizar una prueba se debe conectar al servidor que origina las llamadas continuamente y al mismo tiempo monitorear el rendimiento del servidor.

Una gráfica que muestra el comportamiento adecuado del rendimiento de un servidor de Asterisk cuando tiene un tráfico continuo de llamadas es la siguiente:

Figura 17. **Gráfica de comportamiento de servidor Asterisk**



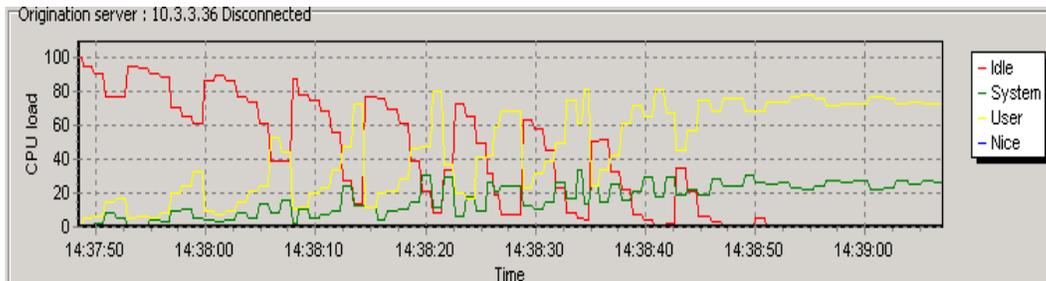
Fuente: *Mirror Unpad*. <http://mirror.unpad.ac.id/orari/library/library-sw-hw/linux-1/sip/asterisk/asterisk/docs/Astertest%20-%20asterisk%20stress%20testing%20tool.htm>.

Consulta: 2 de noviembre de 2014.

En la figura se muestra el resultado del test con el cual se puede determinar que el hardware de esa central de conmutación Asterisk puede soportar un promedio de hasta 140 llamadas SIP sin que se transpongan.

Debido a estos resultados, se puede concluir que el hardware cumple con lo necesario, es decir, 26 llamadas simultáneas. A continuación una imagen de la carga del CPU.

Figura 18. **Gráfica de uso del CPU durante las llamadas**



Fuente: *Mirror Unpad*. <http://mirror.unpad.ac.id/orari/library/library-sw-hw/linux-1/sip/asterisk/asterisk/docs/Astertest%20-%20asterisk%20stress%20testing%20tool.htm>.

Consulta: 2 de noviembre de 2014.

3.2.3. Ubicación de la central

La central de conmutación se debe de ubicar en una sala especial, la cual debe de contar con todo lo necesario en cuanto a sistema de energía, aire acondicionado y temperatura. Esta sala puede ser donde se encuentren los demás equipos de la empresa tales como routers, centrales telefónicas y servidores.

Una central Asterisk llega a reemplazar una central telefónica que usa tecnología analógica y que se puede añadir a la red, ya que es un servidor más.

3.3. Red de acceso

Dentro de la empresa es necesario el nivel de tráfico que se maneja, duración media de las mismas y la cantidad de llamadas.

3.3.1. Líneas troncales: dimensionamiento

Para una empresa mediana se presenta una cantidad de 96 usuarios cuyas extensiones serán de 3 dígitos para numeración respectiva.

Todos estos datos sirven para construir un análisis de tráfico y poder establecer el número de líneas troncales necesarias hacia la PSTN.

Tabla V. **Comportamiento de llamadas**

Tráfico saliente promedio (%)	28
Tráfico entrante promedio (%)	13
Tráfico durante la hora pico (%)	20
Número promedio de llamadas simultáneas	26
Duración media de llamada (seg)	145
Cantidades de minutos totales (mes)	68000
Número de usuarios	96

Fuente: elaboración propia.

Con estos datos se pueden obtener los siguientes datos:

- Cantidad de minutos de usuario por mes = $68000/96 = 708.34$ min/mes. Si se asume que los días laborales son 21 y dado que aproximadamente el 20 % del tráfico total ocurre en la hora pico, se puede determinar el uso por usuario durante la hora pico.
- Minutos por usuario = $708,34$ min/mes/ 21 días \times 20% = $6,75$ min por usuario. Tomando en cuenta que 1 Erlang equivale a 60 minutos de

tiempo, se pueden calcular los valores de tráfico de llamada durante la hora pico:

- Tráfico por usuario durante la hora pico = $6,75/60 = 0,1125$ Erl
- Tráfico total en la hora pico : $0,1125 \text{ Erl} \times 96 = 10,8$ Erl

Usando los datos de tráfico entrante y saliente hacia la PSTN con los datos anteriores se obtiene:

- Total de tráfico entrante: $10,8 \text{ Erl} \times 13 \% = 1,404$ Erl
- Total de tráfico saliente: $10,8 \text{ Erl} \times 28 \% = 3,024$ Erl
- Tráfico total (entrante + saliente) = $4,428$ Erl

Si se aplica el modelo de *Earling B* para el sistema anterior descrito y estableciendo una probabilidad de bloqueo de 1 % se obtienen los siguientes resultados:

Tabla VI. **Tráfico total calculado**

Líneas troncales necesarias	10
Probabilidad de bloqueo	1 %
Tráfico total	4,428 Erl

Fuente: elaboración propia.

Con estos resultados se concluye que aproximadamente diez líneas troncales son suficientes para poder soportar el tráfico de llamadas hacia y desde la PSTN.

Si se dispone de un servicio de E1 contratado que esté funcionando, no es necesario hacer cambios en él.

3.3.2. Líneas troncales E1/PRI

Con la arquitectura de la red que se propone, la central de conmutación Asterisk actúa como *Gateway* hacia la PSTN. La TE110P es una tarjeta PCI que se configura por medio de la interfaz T1/PRI o PRI/E1 y su función es actuar como interfaz para la interconexión del sistema PSTN y VoIP local.

Figura 19. Imagen de una Asterisk *card*



Fuente: *Digium*. <https://www.digium.com/products/telephony-cards>.

Consulta: 16 de noviembre de 2014.

Para poder acceder a la consola de configuración de la tarjeta se deben tener instalados los *drivers* LIBPRI y ZAPTEL, que serán los que proveen la interfaz lógica con el sistema de telefonía tradicional.

Esta configuración se lleva por medio de la configuración de 2 archivos: `/etc/zaptel.conf` y `/etc/asterisk/zapata.conf`, con lo cual se presentan los parámetros del enlace.

Tabla VII. **Parámetros de enlace**

Señalización	CPE
Tipo de conmutador	Euro_ISDN
Canal de señalización	16
Canales de transmisión B	22-31

Fuente: elaboración propia.

Dentro de un único grupo se configuran las 10 líneas troncales, las cuales se toman de manera indistinta por los usuarios de acuerdo con su disponibilidad. El grupo se establece con el fin de establecer las llamadas de larga distancia y las locales; como alternativa para las llamadas de larga distancia internacional se define en el archivo la configuración `/etc/asterisk/extensions.conf`.

3.3.3. Líneas troncales VoIP

PBX IP posee una principal ventaja que es el poder establecer circuitos lógicos hacia otras terminales IP o PBX por medio de cualquier red de esta clase, siendo una red como internet o una privada. Actualmente existe una diversidad de proveedores, quienes ofrecen accesibilidad a la PSTN, utilizando la red VoIP a través de internet.

Las cuentas SIP son otorgadas por los proveedores, ya que es el estándar más utilizado y comercializado dentro del mundo de VoIP. Las cuentas que fueron otorgadas se usarán como línea troncal para soportar el tráfico saliente LDI (Larga Distancia Internacional). Esto proporciona un ahorro considerable en los costos de operación.

La línea troncal SIP puede ser configurada en el archivo `/etc/asterisk/sip.conf`; los campos a configurar son los siguientes:

Tabla VIII. **Parámetros para línea troncal**

<i>Fromdomain</i>	<Dominio del proveedor>
<i>Fromuser</i>	<Número de cuenta>
<i>Host</i>	<IP o nombre del dominio del proveedor>
<i>Type</i>	Peer
<i>Secret</i>	<Password>
<i>Username</i>	<Número de cuenta>

Fuente: elaboración propia.

Los campos *username* y *secret* son de autenticación de la cuenta. *Peer* es un campo que es solo utilizada para realizar llamadas, no para recibir. El campo *Host* hace referencia a la ubicación dentro de la red de la cuenta, mientras que los campos *fromdomain* y *fromuser* son utilizados por el proveedor para verificar la confiabilidad de la cuenta. En primer plano esta línea troncal se utiliza para establecer las llamas LDI y en segundo plano como redundancia para el soporte de LDN y tráfico local, al momento de que un enlace de E1 tenga problema. Toda la información de la configuración se encuentra almacenada en el archivo `/etc/asterisk/extensions.conf`.

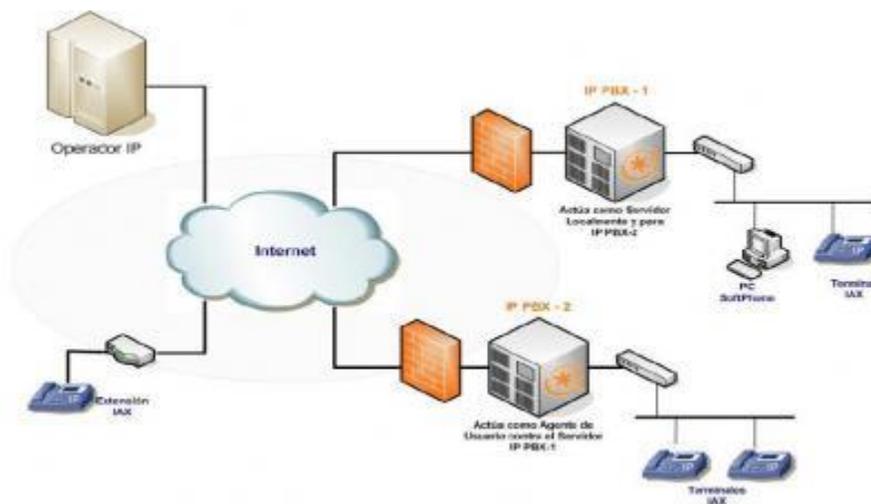
3.4. **Planta externa**

A continuación se describen todos los elementos que deben tomarse en cuenta en la arquitectura externa de la red.

3.4.1. Red de acceso: arquitectura

A continuación se propone la arquitectura de la red.

Figura 20. **Arquitectura de una red**



Fuente: *Speed Software*. <http://speedsoftwares.blogspot.com/p/central-telefonica-telefonía-ip.html>. Consulta: 23 de noviembre de 2014.

Se propone que para una empresa cuya ubicación es un edificio de 3 niveles, se distribuyan los 96 usuarios que requieren acceso al sistema de telefonía. Los usuarios se pueden distribuir de la siguiente forma:

- Tercer piso: 16 usuarios
- Segundo piso: 49 usuarios
- Primer piso: 31 usuarios

El tercer piso está compuesto por los *switches*, los cuales llevan a cabo la conmutación secundaria del sistema por los puntos de acceso.

La función de estos puntos es proporcionar el acceso a los diversos dispositivos que se conectan a la red (PC's, teléfonos alámbricos, teléfonos Wi-Fi, entre otros).

El segundo piso está integrado por 3 *switches*, los cuales se administran uno para cada piso y su función es la conmutación secundaria del sistema. Los puntos de acceso se conectan hacia estos *switches*, los cuales se encuentran a la vez conectados por medio de enlaces de respaldo en el conmutador primario.

El primer piso está compuesto por dos *switches*, los cuales realizan la función de conmutador primario del sistema. Estos proporcionan el acceso hacia las redes externas como la PSTN, la central Asterisk y hacia internet a través del *router*.

Uno de los elementos necesarios para poder montar el servicio es el tema del cableado, ya que este debe cumplir con las normas de cableado estructurado. Puede ser que donde se instale el servicio ya exista una red de cableado estructurado, por lo que en este caso solo será necesario el cambio de *switch* por otro nuevo, para poder responder al tráfico que curse el sistema de telefonía IP.

Para poder comunicar los diferentes elementos y con el fin de no generar tráfico basura se establecerán VLAN para los diferentes tipos de datos que pasan por la red, los cuales son:

- Voz para terminales Inalámbricos
- Datos
- Voz para terminales alámbricos

3.4.2. Red inalámbrica: cobertura

Para la cobertura de red inalámbrica los dispositivos a usar deben de poseer características importantes al momento de hacer los cálculos de cobertura, los cuales se presentan en la tabla siguiente.

Tabla IX. **Características de cobertura los diferentes puntos**

Equipo	Potencia de transmisión	Sensibilidad de recepción a 36 Mbps (dBm)	Sensibilidad de recepción a 54 Mbps (dBm)
Punto de acceso	Hasta 18 configurables	-82	-76
Teléfono Wi-Fi	14	-86	-78

Fuente: elaboración propia.

Los equipos que pueden ayudar a satisfacer estas necesidades son para los teléfonos Wi-Fi los Linksys WIP300 o WIP330 y para los puntos de acceso se pueden usar los Linksys WAP54G. Se deben tomar en cuenta en el cálculo las pérdidas de propagación, dependiendo de las condiciones del lugar. Para ello se aplica la siguiente fórmula:

$$L \text{ (dB)} = 20x \log (f) + 28 \log (d) + 15 + 4 (n-1) - 28$$

L es la pérdida de propagación, la cual dependerá de la velocidad de transmisión a la cual trabajará el sistema; $f = 2.4 \text{ Ghz}$, d y n son valores cambiantes, ya que se obtendrán en función a las otras variables.

De forma resumida, la fórmula puede quedar así:

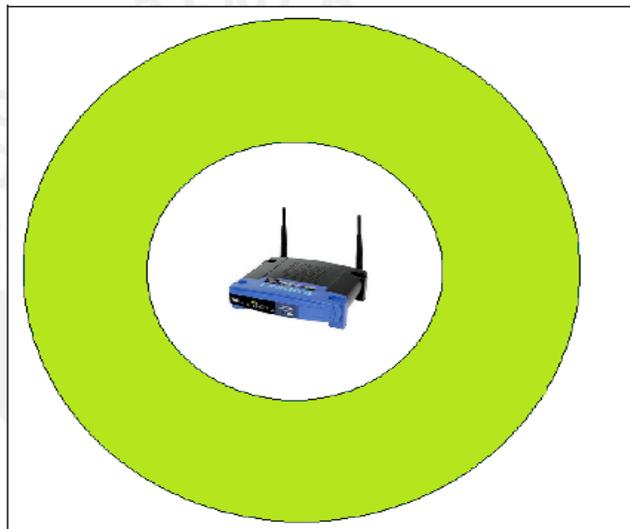
$$L \text{ (dB)} = 54.6 + 28 * \log (d) + 4 (n-1)$$

Se puede considerar un determinado número promedio de obstáculos en el campo de cobertura entre el punto de acceso y el dispositivo Wi-Fi:

- $n = 4$, 25 metros
- $n = 3$, 20 metros
- $n = 2$, 15 metros

Utilizando los parámetros de transmisión y recepción de la tabla anteriormente descrita, se logra tener el siguiente comportamiento de la cobertura de la red propuesta:

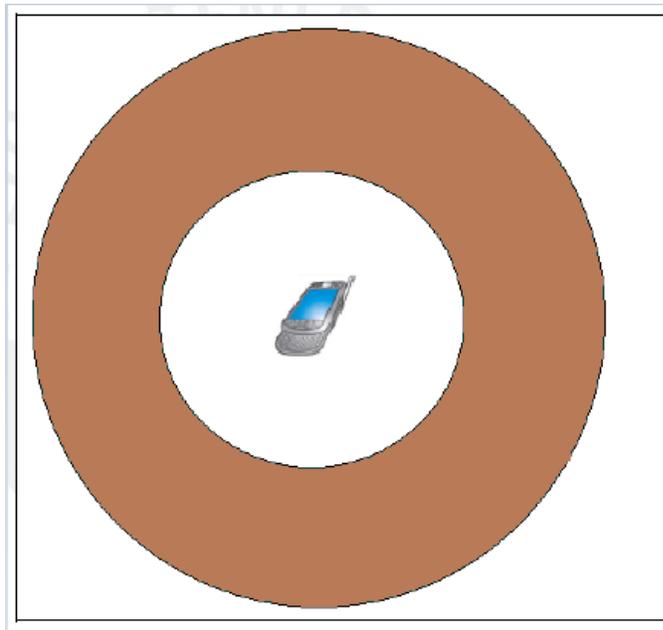
Figura 21. **Área de cobertura de un Linksys WAP54G**



Fuente: elaboración propia.

En el círculo de interno se posee una cobertura de 15,5 metros a 54 Mbps y en el círculo externo una cobertura de hasta 21,5 metros a 36 Mbps.

Figura 22. **Área de cobertura de un Linksys WIP300**



Fuente: elaboración propia.

En la imagen anterior se puede apreciar un teléfono Wi-Fi, el cual ofrece menor rango de cobertura por sus características de sensibilidad RF y transmisión, por lo que al momento de diseñar la cobertura del lugar, los puntos de acceso configuran los datos de transmisión y regularizarán los niveles de cobertura.

La velocidad de transmisión que se usará en el sistema es de 36 Mbps, ya que es el que ofrece beneficios para la capacidad y la cobertura.

Los puntos de acceso se distribuirán de la siguiente forma:

- Tercer piso: 1 punto de acceso
- Segundo piso: 2 puntos de acceso
- Primer piso: 2 puntos de acceso

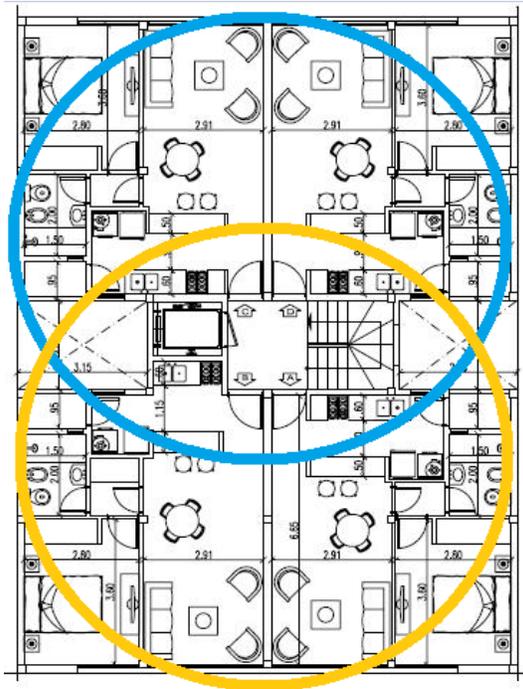
A continuación se muestra cómo quedaría la cobertura dentro del edificio de la empresa. Se presentan como ejemplo imágenes de los planos de cada piso del edificio de una empresa, la cual se podría aplicar el diseño de cobertura.

Figura 23. **Área de cobertura de los tres pisos**



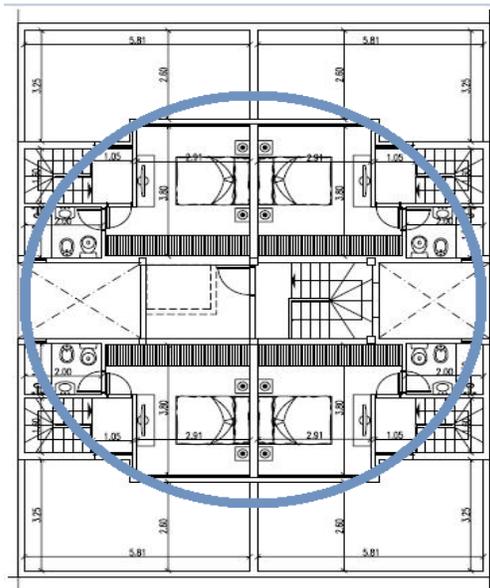
Continuación de la figura 23.

Piso 2:



PLANTA 02

Piso 3:



PLANTA 03

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Cabe resaltar que las celdas deben estar dentro del mismo SSID para permitir a los usuarios acceder a los servicios que proporciona la red desde un determinado punto del edificio. Se debe mencionar que las paredes de dicho edificio son de media altura y además el material de dichas paredes es de tabla yeso, por lo que no se esperan problemas de cobertura por obstáculos.

El patrón de radiación de los puntos de acceso debe tener una cobertura de forma omnidireccional, el ancho vertical de haz de radiación debe ser de 30 grados, por lo que la interferencia entre cobertura de pisos llega a ser casi nula, tomando en cuenta que el grosor del piso y techo sí llega a ser un factor importante como obstáculo a la cobertura, provocando pérdidas y atenuación en la señal, debido a la naturaleza de la estructura.

3.4.3. Red inalámbrica: capacidad

El estándar 802.11g señala que se hace uso de hasta 3 canales RF 1, 6 y 11, sin que lleguen a traslaparse. Los puntos de acceso operan en canal distinto optimizando el uso de canales.

Tabla X. **Capacidad de red inalámbrica**

Ubicación	Número de canal	Frecuencia	Leyenda
Piso 3	6	2,437 Ghz	
Piso 2, norte	1	2,412 Ghz	
Piso 2, sur	11	2,462 Ghz	
Piso 1, norte	6	2,437 Ghz	
Piso 1, sur	1	2,412 Ghz	

Fuente: elaboración propia.

Debe reconocerse que el tráfico por usuario en horas pico es 0,1125 Erl. De acuerdo con la distribución que se propone existe un promedio de usuarios por punto de acceso, los cuales solo pueden llegar a ocupar un canal de acceso compartido de 36 Mbps. Al utilizar el códec G.711 se utilizan 64 Kbps por cada canal de voz, pero se debe prestar atención en el *overhead* que se produce en los paquetes de encabezado IP, UDP y RTP:

- RTP: 12 *bytes*
- UDP: 8 *bytes*
- IP: 20 *bytes*
- Wi-Fi: 30 *bytes*

Lo anterior da como resultado un total de 70 *bytes* el tamaño del encabezado por cada paquete de RTP.

Tabla XI. **Tamaño de encabezado**

Tasa (bps)	Paquetes por segundo	Tramas por paquete	Tiempo de trama (ms)	Tamaño de trama (<i>bytes</i>)
6 4,000	33,33	1	30	240

Fuente: elaboración propia.

Ahora, ya que se tiene el tamaño del encabezado se toman los parámetros de la tabla para el códec G711 y se suman los 70 *bytes* del encabezado a la carga de 240 *bytes* y se obtiene un total del tamaño del paquete de 310 *bytes*; por lo tanto, la capacidad de transmisión que se necesita por cada canal es: $310 \times 8 \times 33,33 = 82,7$ Kbps.

Tabla XII. **Capacidades de señal por piso**

Piso	Ancho de banda necesario	Tráfico por punto	Usuarios por punto
3	148,9 kbps	1,8 erl	16
2	228,3 kbps	2,76 erl	24,5
1	143,9 kbps	1,74 erl	15,5

Fuente: elaboración propia.

Como puede apreciarse en la anterior tabla, la mayor cantidad de usuarios por punto de acceso se encuentra en el segundo piso con 2,76 Erl y 228,3 kbps.

Para dar soporte a las necesidades de comunicación de la empresa se puede determinar con los datos obtenidos anteriormente, que los 36 Mbps que se tenía contemplado proporcionar al inicio, son suficientes para las capacidades de voz que sean necesarias. Debido a la capacidad de la red inalámbrica pueden por ella transitar diferentes servicios de datos.

Cabe mencionar que estos 36 Mbps dependen de cómo estén las condiciones del medio, ya que puede haber colisiones con obstáculos, calidad de la energía, entre otros.

Por último, hay que mencionar que al momento de implementar este tipo de diseño dentro de un edificio es recomendable realizar las pruebas de los servicios a nivel de transmisión, potencia, pérdida, velocidades, entre otros. Todo para obtener los datos exactos y con base en esto, proporcionar los servicios y distribuir los usuarios de la mejor forma.

Los servicios que se prestan en la red por el nuevo sistema de telefonía IP se pueden encontrar enlistados en el archivo `/etc/asterisk/extensions.conf`.

Los servicios que se pueden implementar son:

- Notificaciones de mensaje espera
- Movilidad
- Marcación a buzón de voz
- Desvío de llamadas
- Llamada en espera
- Marcado rápido
- Transferencia de llamadas
- Historial de llamadas
- Conferencia
- Grabación de llamadas
- Melodía de espera

El sistema de buzón de voz no es un sistema aparte, sino que ya viene integrado con la central Asterisk.

4. COSTO DEL PROYECTO

4.1. Costo de implementación

Los costos de un proyecto se dividen en dos partes: el Capex (costo de inversión) y el Opex (costo de mantenimiento). Los costos del proyecto se deben de analizar en dos maneras distintas:

- Costo de instalación
- Costo del equipo (hardware)

Se proporciona un costo estimado de acuerdo con el análisis que se hizo anteriormente y en el cual se realizaron los cálculos para una propuesta de diseño.

Tabla XIII. Costo de instalación

Item	Cantidad	Precio unitario	Precio total en \$
Cableado y costo de infraestructura	/	/	2 100
Instalación de equipos de teléfono	96	10,41	1 000
Instalación de la central	1	500	500
Instalación de <i>switch</i>	5	90	450
Instalación de puntos de acceso	5	250	1 000

Fuente: elaboración propia.

Los costos de hardware se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla XIV. **Costo de hardware**

Item	Cantidad	Precio unitario en \$	Precio total en \$
Teléfono inalámbrico	37	120	4 440
Teléfono Wi-Fi Linksys	59	300	17 000
Tarjeta Digium	1	900	900
Central Asterisk	1	600	600
Switch Linksys	5	650	3 250
Punto de acceso	5	300	1 500

Fuente: elaboración propia.

El total para el costo de la instalación sería de \$ 5 050 y para el de hardware de \$ 27 690, con un total de inversión de \$ 32 740. Costos como los de energía, aire acondicionado y otros, son ya propios de la empresa y no del proyecto, por lo que ya no se estima su inversión.

4.2. Costo de operación y mantenimiento

Debido a la necesidad de más recursos de red, los costos respecto de la operación y el mantenimiento aumentarán, ya que se necesita de elementos que participan y se comunican con la red de PBX, *routers*, *switch*, entre otros. Se manejan dos tipos de mantenimientos: el reactivo que es el que se ejecuta con el fin de solucionar alguna falla o error en la red y su costo depende del tipo de solución, y el proactivo que se ejecuta con el fin de anticiparse a alguna posible falla. Este tipo de mantenimiento regularmente se hace de rutina (diario, semanal o mensual). Son actividades como *backups* o pruebas de la red.

CONCLUSIONES

1. A lo largo de este trabajo de graduación se logró con éxito el diseño y la implementación de una red de PBX inalámbrica a través de programas de código abierto y de Asterisk como servidor, utilizando una red Wi-Fi.
2. Se partió de los fundamentos de telefonía y redes inalámbricas, de los cuales, por medio del desarrollo de la telefonía IP, se logró identificar los beneficios y flexibilidad al momento de implementar este diseño en comparación con otras tecnologías.
3. En el diseño que se realizó utilizando telefonía IP, se puede apreciar el alto beneficio que conlleva implementar Wi-Fi. La tecnología Wi-Fi es un medio muy importante de conectividad hoy en día a nivel mundial, ya que permite a los dispositivos comunicarse entre ellos, ofreciendo movilidad a los usuarios sin necesidad de cables.
4. La implementación de la tecnología basada en IP puede permitir a la empresa que los implemente, reducir sus costos de operación y mantenimiento, y además aumentar el rendimiento de los servicios que prestan en la red.
5. Se garantiza una red segura, ya que se necesita una conexión, la cual puede estar restringida con ciertos permisos, para que usuarios externos o visitantes no puedan acceder a la red local o los recursos o servicios de la misma.

RECOMENDACIONES

1. Respecto de la seguridad y la confiabilidad de la red, es necesario garantizar una alta disponibilidad del sistema.
2. Que la operabilidad del sistema esté a cargo de profesionales expertos en el área, para su efectividad y funcionamiento. Esto es porque principalmente la red de acceso a la PSTN requiere de una conexión física a la central de conmutación por medio de su interfaz PCI, lo cual dificulta el despliegue de un sistema de centrales de respaldo distribuidas, tanto en el aspecto económico como en las tácticas que se apliquen.
3. Tomar en cuenta que se estará en presencia de una red híbrida IP-TDM, dada la necesidad de interoperabilidad del sistema de telefonía IP con los sistemas tradicionales y la PSTN.

BIBLIOGRAFÍA

1. GONCALVEZ, Flavio E. *Asterisk: guía de configuración*. España: Office Networks, LTDA, 2006. 137 p.
2. GOMILLION, David. *Building telephony systems with Asterisk*. USA: PACKT, 2006. 176 p.
3. IEEE 802.11a. *Higher speed extension in the 2.4 GHz Band*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1999. 437 p.
4. IEEE 802.11b. *High speed physical Layer in the 5 GHz Band*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1999. 413 p.
5. IEEE 802.11. *Wireless LAN medium access control and physical Layer specifications*. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1999. 409 p.
6. LAWRENCE HARTE, Robert Flood. *Introduction to Private Telephone Systems*. Estados Unidos: Althos, 2005. 205 p.
7. SENDÍN ESCALONA, Alberto. *Fundamentos de los sistemas de Comunicaciones móviles*. México: McGraw-Hill, 2004. 98 p.
8. UIT-R Recomendación P.1238. *Datos de propagación y métodos de predicción de sistemas de radiocomunicación en interiores y 900 MHz a 100 GHz*. México: PACKT, 2005. 11 p.

