

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE UNA PBX INALÁMBRICA
PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS
DE TIPO FIJO Y MÓVIL UTILIZANDO
WI-FI Y TELEFONÍA IP

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR

José Luis Mendoza Cámac

LIMA – PERÚ

2007

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño una IP-PBX inalámbrica para una empresa, con lo cual se pretende brindar servicios de transmisión de voz y datos a sus usuarios, empleando un sistema inalámbrico multicelular como principal medio de acceso.

La central de conmutación PBX será una solución en software utilizando Asterisk/GNU Linux, con lo cual se implementará un sistema de Telefonía sobre IP (ToIP). Para la atención de la demanda móvil de los usuarios se hará uso de la tecnología Wi-Fi.

Se detallan aspectos teóricos sobre centrales PBX, VoIP, Asterisk, Wi-Fi y propagación en áreas cercanas sin línea de vista NLOS, así como las consideraciones necesarias para el planeamiento e implementación de redes inalámbricas multicelulares de este tipo. Se plantea una empresa ficticia donde se define la ubicación de los equipos terminales, luego se aplican los conceptos revisados y se procede a realizar el diseño final de la red.

También se estiman los costos de inversión y operación que involucra la propuesta y se dan las recomendaciones del caso.

Esta tesis está dedicada a mis padres
y a mis hermanas por su inmenso cariño y
apoyo incondicional durante todo
este tiempo.



Agradezco a mi familia, asesor, profesores y amigos
sin los que tantas cosas no habrían
sido posibles.



INDICE

Lista de figuras	vi
Lista de tablas	viii
Glosario	ix
Introducción	1
Capítulo I: Marco teórico	3
1.1 VoIP	3
1.1.1 Telefonía IP	4
1.1.2 SIP	5
1.1.3 IAX	14
1.2 PBX	22
1.2.4 Asterisk	23
1.2.3 WPBX	26
1.3 Propagación en áreas cercanas: pico-células	27
1.3.1 Wi-Fi	28
1.3.2 Consideraciones de planeamiento	30
Capítulo II: Localización del proyecto	37
2.1 Perfil de la empresa	37
2.2 Arquitectura de red actual	38
2.3 Estructura de la empresa	39
2.4 Requerimientos de servicio	43
2.4.1 Servicios de telefonía	43
2.4.2 Servicios de datos	44
Capítulo III: Ingeniería del proyecto	45
3.1 Arquitectura de la red	45
3.2 Central de conmutación	47
3.2.1 Señalización y codecs	48
3.2.2 Dimensionamiento de la central	49
3.2.3 Ubicación de la central	53
3.2.4 Plan de numeración	53
3.3 Red de acceso a la PSTN	54
3.3.1 Dimensionamiento de las líneas troncales	54
3.3.2 Líneas troncales E1/PRI	56
3.3.3 Líneas troncales VoIP	58
3.4 Planta externa	60
3.3.1 Consideraciones previas	60
3.3.2 Arquitectura de red de acceso	61
3.3.3 Cobertura de red inalámbrica	63
3.3.4 Capacidad de red inalámbrica	69
3.3.5 Servicios del sistema	72
Capítulo IV: Costos de inversión y operación	74
4.1 Costos de inversión	74
4.2 Costos de operación y mantenimiento	75
Conclusiones y recomendaciones	77

Bibliografía.....79

Anexo 1: Planos de planta - FUTURA S.A..... Apartado

Anexo 2: Instalación de Asterisk en Centos 4.4 Apartado

Anexo 3: Archivos de configuración Asterisk Apartado

Anexo 4: Hojas de datos Apartado



LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
1.1 Cabecera RTP	11
1.2 Señalización y Flujo de Media en una llamada SIP	13
1.3 Cabecera de una trama completa IAX	18
1.4 Cabecera de una mini-trama IAX	19
1.5 Cabecera de una meta-trama IAX.....	19
1.6 Señalización y Flujo de Media en una llamada IAX	21
1.7 Arquitectura de Asterisk.....	25
1.8 Esquema de una PBX inalámbrica: WPBX.....	27
1.9 Red multicelular basada en pico-células	27
1.10 Modelo de propagación en interiores	31
1.11 Margen de fading.....	32
1.12 Canales disponibles – 802.11 b/g.....	34
1.13 Canales disponibles – 802.11 a	34
1.14 Planeamiento de celdas y reuso de frecuencias con el estándar 802.11b/g.....	35
1.15 Planeamiento de celdas y reuso de frecuencias con el estándar 802.11a.....	36
2.1 Arquitectura de red de FUTURA S.A.	38
2.2 Plano de planta FUTURA S.A.- primer piso	40
2.3 Plano de planta FUTURA S.A.- segundo piso	41
2.4 Plano de planta FUTURA S.A.- tercer piso	42
3.1 Arquitectura de red propuesta.....	46
3.2 Escenario de prueba Astertest.....	50
3.3 Resultados Astertest – cantidad de llamadas.....	51
3.4 Resultados Astertest – carga de CPU.	52
3.5 Ubicación de la central.....	53
3.6 Tarjeta DIGIUM TE110P.....	57
3.7 Acceso a la PSTN via enlace E1/PRI.	57

3.8 Acceso a la PSTN via troncal SIP.....	59
3.9 Arquitectura de la red de acceso.....	61
3.10 Rango de cobertura – punto de acceso.....	64
3.11 Rango de cobertura – teléfono Wi-Fi.....	65
3.12 Plano de cobertura – primera planta.....	66
3.13 Plano de cobertura – segunda planta.....	67
3.14 Plano de cobertura – tercera planta.....	68



LISTA DE TABLAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
1.1 Códigos de respuesta SIP.....	9
1.2 Parámetros SDP	10
1.3 Codecs soportados por Asterisk.....	25
1.4 Parámetros de la familia de estándares 802.11.....	29
1.5 Cálculo del coeficiente de pérdida.....	31
1.6 Cálculo del factor de penetración.....	32
1.7 Comparación de la capacidad de los estándares 802.11	35
3.1 Hardware de la central Asterisk.....	47
3.2 Software de la central Asterisk.....	48
3.3 Parámetros de testeo Astartest	50
3.4 Plan de numeración	54
3.5 Estadísticas del sistema de telefonía	55
3.6 Resultados del análisis de tráfico externo	56
3.7 Parámetros del enlace E1.....	58
3.8 Parámetros de la línea troncal SIP.....	59
3.9 Parámetros de transmisión y recepción de los equipos Wi-Fi.....	63
3.10 Plan de frecuencias para la red de acceso inalámbrica.....	69
3.11 Parámetros de la codificación G711	70
3.12 Medidas de capacidad de red.....	71
4.1 Costos de hardware y equipos	74
4.2 Costos de instalación	75
4.3 Costos de mantenimiento.....	76

GLOSARIO

API	Application Programming Interface
CCK	Complementary Code Keying
CENTOS	Community ENTerprise Operating System
CODEC	COder / DECoder
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
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 Standardization Sector (UIT-T)
IVR	Interactive Voice Response
LAN	Local Area Network
MGCP	Media Gateway Control Protocol
NAT	Network Address Translation
OFDM	Orthogonal Frequency – Division Multiplexing
OSI	Open Systems Interconnection

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
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
RTC	Red Telefónica Conmutada
RTP	Real Time Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
RTSP	Real Time Streaming Protocol
RTS-CTS	Request To Send – Clear To Send
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

Introducción

Hoy en día, la necesidad de las empresas de contar con un sistema de comunicación confiable y eficiente, ha conllevado al desarrollo de diversas tecnologías que plantean soluciones algunas más o menos adecuadas que otras dependiendo de su campo de aplicación. En este contexto, el contar con un servicio de telefonía flexible y eficiente se presenta como una de las necesidades básicas para cualquier empresa, razón por la cual, la mayoría de ellas opta por la implementación de centrales privadas PBX que puedan satisfacer las necesidades de eficiencia en sus operaciones, pues con esto se logra facilitar la comunicación en un negocio y reducir los costos que involucraría la utilización de recursos externos para una comunicación entre usuarios dentro de la misma empresa.

Los estándares de VoIP y sus aplicaciones, han venido evolucionando aceleradamente los últimos años y son adoptados por cada vez más empresas y usuarios en general, dado que heredan todas las características de las redes IP, así como la posibilidad de utilizar una única infraestructura de red y medios físicos para la transmisión de datos, voz, imágenes, y video. Por otro lado, el uso de software de código abierto (*open source*) también ha venido tomando gran acogida en los negocios, pues brinda mayor flexibilidad a la hora de hacer cambios o actualizaciones en un sistema, además de los bajos costos que involucra respecto al uso de sistemas de tecnología propietaria. En vista de que estos nuevos esquemas serán ampliamente desarrollados y tendrán una presencia bastante importante en el ámbito de las comunicaciones en un corto plazo, se presentará una solución de PBX utilizando telefonía IP y GNU Linux/Asterisk (PBX implementada en software).

Más allá del óptimo dimensionamiento y diseño de la red de acceso a la PSTN y de la central de conmutación Asterisk, es necesario prestarle un interés especial a la planta externa de la red, constituida por todos los medios físicos

que le darán el acceso al usuario final. Es en este contexto que se presenta la utilización de mini-sistemas inalámbricos celulares (entre los que destacan DECT y Wi-Fi) como una solución bastante atractiva para los usuarios, dado que estos sistemas optimizan aspectos importantes del acceso telefónico como la libertad de movimientos y la localización inmediata de los usuarios.

El objetivo del presente trabajo es el diseño de una central privada inalámbrica bajo el concepto de PABX utilizando Asterisk y Wi-Fi, para FUTURA S.A., empresa ficticia estructurada y caracterizada óptimamente para la aplicación de las consideraciones de planeamiento e implementación de una red multicelular basada en micro y pico-células.

En la primera parte del trabajo se realiza una descripción técnica que cubre todo el aspecto teórico que involucra el diseño, tomando un especial interés en el análisis de Wi-Fi y su situación como la plataforma inalámbrica para las aplicaciones de Telefonía IP..

En la segunda parte se define el lugar de aplicación y se realiza el diseño e implementación de la red: central de conmutación (servidor Asterisk), planta externa alámbrica e inalámbrica y la red de acceso a la PSTN.

Finalmente, se estiman los costos de inversión y operación de la red propuesta y se termina con las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Capítulo 1

Marco Teórico

1.1 Voz sobre IP (VoIP)

El estándar VoIP fue definido por la UIT-T en 1996 con el fin de establecerse como una base común de desarrollo para los diversos fabricantes y puedan así evolucionar en conjunto. VoIP en sí es una clarificación de la recomendación previa H.323 [18], creada originalmente para proveer un mecanismo de transporte para las aplicaciones multimedia (principalmente voz y videoconferencia) sobre redes LAN como TCP/IP e IPX sobre Ethernet, Fast Ethernet y Token Ring.

Con el gran crecimiento e implantación de las redes IP, así como la aparición de Internet y el desarrollo de más y mejores técnicas de digitalización y codificación de voz, VoIP se presenta como un tema candente y de gran interés principalmente por el ahorro de costos que involucraría el transporte de las llamadas de larga distancia a través de Internet, pagando únicamente las conexiones de acceso.

Por otro lado, esta tecnología presenta un gran obstáculo a vencer: garantizar la calidad de servicio (QoS) en la red IP. Esto se viene logrando con el desarrollo de nuevos estándares que trabajan en la

optimización de los *codex* utilizados, retardo o latencia (que no debe superar los 150 ms), variación de retardo (*jitter*), priorización del tráfico de voz sobre datos, e incluso la implantación del protocolo IPv6, que fue pensado para optimizar todos estos aspectos relacionados a la calidad de servicio [6].

1.1.1 Telefonía IP

La telefonía IP [6] es el servicio de telefonía brindado sobre una red IP convencional, utilizando los estándares de VoIP para la señalización y las transmisiones de voz. Este sistema de telefonía pretende cubrir todas las características y funcionalidades ofrecidas por los sistemas tradicionales de telefonía.

En este contexto, se define una plataforma para el control y una plataforma para el flujo de media. Existe una basta cantidad protocolos definidos para cumplir los requerimientos en ambas plataformas, algunos de ellos son estándares abiertos y otros se tratan de protocolos de tecnología propietaria.

Los protocolos definidos para la plataforma de control, se encargan básicamente de la señalización en la red: el establecimiento, modificación y término de las llamadas. Entre los protocolos más resaltantes de los estándares abiertos están:

- H.323 [18], protocolo definido por la ITU-T para la transmisión de aplicaciones multimedia en general y altamente implementado y desarrollado en los inicios de la telefonía IP.
- SIP [13], protocolo definido por la IETF creado exclusivamente para su uso en redes IP y en Internet.

- IAX [17], protocolo utilizado para la comunicación entre centrales Asterisk y también con dispositivos terminales que lo implementen.

Los dos últimos se detallan más adelante, pues serán los protocolos utilizados en el diseño propuesto.

A pesar de que el protocolo H.323 ha sido ampliamente desarrollado e implementado en muchos sistemas VoIP e incluso la mayor parte del tráfico VoIP cursado hoy en día es llevado utilizando este protocolo, H.323 es bastante más complejo que los otros protocolos, y sus aplicaciones no son fáciles de usar ni facilitan la escalabilidad. Es por estos motivos que no se considerará este protocolo para el presente diseño.

Una vez establecidas las llamadas entran a tallar los protocolos para el flujo de media. Estos protocolos son:

- RTP [15], protocolo definido por la IETF para el transporte de voz y video en tiempo real.
- RTCP [16], protocolo definido por la IETF para el control del flujo RTP.

Ambos protocolos son usados en conjunto utilizando distintos canales (puertos) para su ejecución. Estos protocolos son utilizados para el flujo de media en sistemas SIP y H.323, más no así con IAX el cual que utiliza un único protocolo para el manejo de la señalización y el flujo de media, a fin de solucionar algunos inconvenientes que presentan los esquemas anteriores en situaciones reales. Esto se explicará más adelante cuando se detalle el protocolo IAX.

1.1.2 SIP

Session Initiation Protocol [13], desarrollado por el grupo de trabajo MMUSIC de la IETF y definido en la RFC3261 (en su versión más actual). SIP es un protocolo de señalización a nivel de aplicación para el establecimiento, modificación y término de sesiones, en las cuales se puede transmitir cualquier tipo de media, como VoIP por ejemplo.

SIP utiliza TCP/UDP en el puerto 5060 para la comunicación entre terminales y servidores SIP. Además hace uso de los protocolos RTP/RTCP y SDP para llevar a cabo el flujo de media y descripción de la sesión, respectivamente.

1.1.2.1 SIP URI

Para el direccionamiento de las entidades SIP, se establecen los SIP URI (*Uniform Resource Identifiers*) que son usados como identificadores de un usuario en particular y se definen en la RFC 2396. Un SIP URI tiene el siguiente formato:

sip: usuario@dominio

Nombre del protocolo, un nombre de usuario y un nombre de dominio separados por el símbolo @.

1.1.2.2 Componentes de una red SIP

SIP dispone de cinco facetas para el establecimiento y término de las sesiones multimedia: localización de usuario, disponibilidad, utilización de recursos, montaje y gestión de la sesión. Para la realización de estas tareas, se definen dos componentes: *User Agents* (clientes) y servidores.

- *User Agent (UA)*, es un componente de la red capaz de establecer sesiones multimedia, puede ser un teléfono o un *gateways* SIP. Cada UA consta de dos partes: un *User Agent Client (UAC)* y un *User Agent Server (UAS)*. El UAC es la parte lógica que genera peticiones SIP y recibe las respuestas correspondientes, mientras que el UAS es la parte lógica que se encarga de responder a las peticiones generadas por los UACs.
- Servidores, pueden ser de 3 tipos:
 - Servidor Proxy: es una entidad intermedia que reenvía las peticiones y/o respuestas generadas por los UAs, con la finalidad de establecer las llamadas. Este Proxy a su vez puede ser *statefull* o *stateless*, dependiendo de si mantiene o no el estado de las transacciones durante el procesamiento de las peticiones.
 - Servidor de registro: es un servidor que se encarga de recibir peticiones de registro de los UACs, almacenando información para la localización de los usuarios en el dominio que controla.
 - Servidor de redirección: es un servidor que genera respuestas de redirección a las peticiones recibidas, encaminándolas a otro servidor o UAS.

1.1.2.3 Mensajes SIP

Un mensaje SIP se puede tratar de una petición o una respuesta entre los componentes ya descritos. Ambos tipos de mensajes usan el formato base definido en la RFC 2822 (*Internet Message Format*) y a grandes rasgos se

conforman de una línea inicial, seguido de uno o más campos de cabecera (que llevan información necesaria de las entidades SIP), una línea en blanco (que indica el final de la cabecera) y finalmente el cuerpo de mensaje (opcional).

- Peticiones

Se distinguen por tener una línea de petición (*request-line*) como línea inicial. Esta línea contiene un nombre de método, destinatario de petición (*Request-URI*) y la versión del protocolo, separados por espacios simples.

La especificación define seis métodos:

- REGISTER: registra al respectivo UA.
- INVITE: invita a un UA al establecimiento de una sesión o modifica los parámetros de una sesión existente
- ACK: confirma el establecimiento de una sesión
- CANCEL: cancela una petición pendiente
- BYE: indica el término de una sesión
- OPTIONS: solicita información sobre las capacidades de un servidor

- Respuestas

Se distinguen por tener una línea de estado (*status-line*) como línea inicial. Esta línea contiene la versión del

protocolo seguido por un código de estado (*status-code*) y la frase textual asociada.

Los códigos de estado son números enteros y constan de tres dígitos, siendo el primero de ellos el que define la clase de la respuesta.

TABLA 1.1. CÓDIGOS DE RESPUESTA SIP

Código	Clases
1xx	Mensajes provisionales
2xx	Respuestas de éxito
3xx	Respuestas de redirección
4xx	Respuestas de falla de método
5xx	Respuestas de fallas de servidor
6xx	Respuestas de fallas globales

Fuente: RFC 3261 "Session Initiation Protocol"

1.1.2.4 SDP

Session Description Protocol [14], es un protocolo que da el formato para la descripción de los parámetros de inicialización de un flujo de media. SDP fue desarrollado inicialmente para el anuncio de información necesaria en sesiones multicast, sin embargo su uso ha sido extendido para el anuncio y negociación de las sesiones multimedia en Internet. Este protocolo fue desarrollado por la IETF y se define en el RFC 2327.

Los mensajes SDP se componen de varios campos ordenados de manera sistemática para su fácil interpretación, y cuyos nombres son abreviados a una sola letra. Estos campos describen los diversos parámetros de la sesión:

TABLA 1.2. PARÁMETROS SDP

Tipo	Descripción
V	Versión del protocolo
o	Identificador
S	Nombre de sesión
I	Información de la sesión
U	URI de la descripción
e	Dirección de correo
p	Número de teléfono
C	Información de conexión
b	Ancho de banda
Z	Tiempo de corrección
K	Clave de encriptación
a	Atributos
T	Tiempo de sesión
R	Tiempo de repetición
m	Información del protocolo de transporte

Fuente: RFC 2327 "Session Description Protocol"

1.1.2.5 RTP/RTCP

Real-time Transport Protocol [15] y *Real-time Transport Control Protocol [16]*, son protocolos definidos en las RFCs 3550 y 3605, que trabajan en conjunto en la plataforma de flujo de media.

RTP trabaja en el nivel de transporte, proporcionando un formato estandarizado para la entrega de audio y video en Internet. Los estándares H.323 y SIP hacen uso de este protocolo para el manejo de la plataforma de flujo de media.

- *Sequence Number*, se incrementa en uno por cada paquete enviado, utilizado por el receptor para detectar pérdidas de paquetes.
- *Timestamp*, indica el instante de muestreo del primer octeto de RTP para sincronización y cálculos de *jitter*.
- *SSRC*, *Synchronization Source*: identifica la fuente de sincronización, el valor es elegido de manera aleatoria.
- *CSRC*, *Contributing Source*: es un arreglo de 0 a 15 elementos que identifican las fuentes que contribuyen a la carga útil en el presente paquete.

Cabe mencionar, que RTP y RTCP no definen un puerto UDP o TCP estándar por el cual comunicarse, solo se especifica que las conexiones UDP se debe realizar utilizando un puerto impar, utilizando también el siguiente puerto par superior para la conexión RTCP asociada.

1.1.2.6 Llamadas SIP

A continuación se muestra un diagrama donde se detallan las transacciones y mensajes involucrados en el establecimiento, ejecución y término de una llamada entre terminales SIP a través de un servidor proxy.

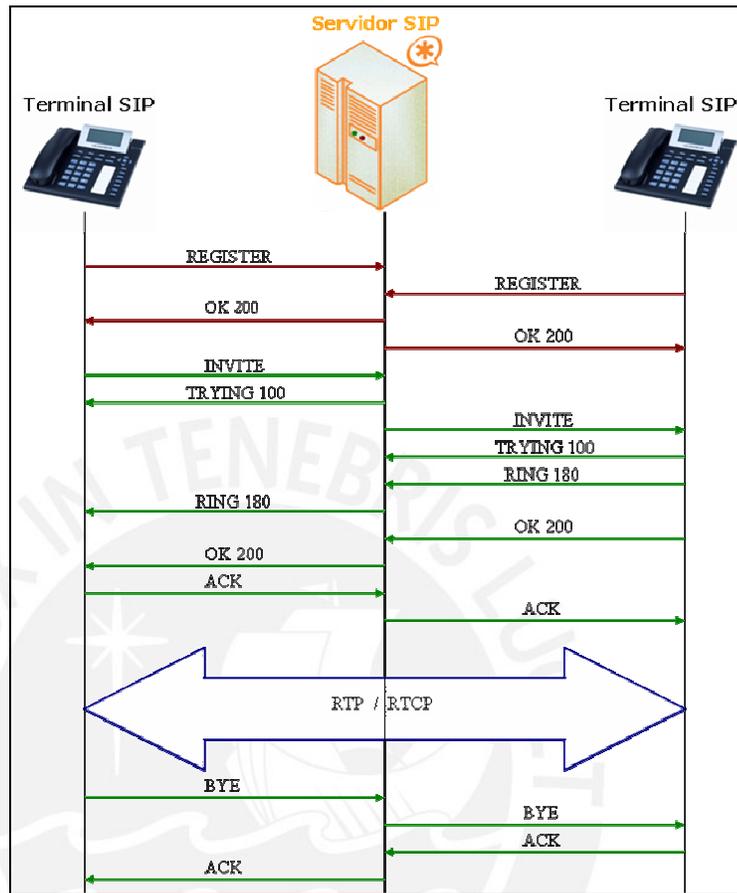


FIGURA 1.2. SEÑALIZACIÓN Y FLUJO DE MEDIA EN UNA LLAMADA SIP

Inicialmente los terminales se registran al servidor SIP, el cual hace las veces de servidor de registro. Para este fin, los respectivos UAC envían las peticiones REGISTER al UAS del servidor y este responde con el mensaje de éxito 200 OK. Este proceso de registro puede ocurrir en cualquier instante anterior a la intención de llamada y los registros individuales no ocurren de forma simultánea necesariamente.

El terminal A inicia el proceso de establecimiento de sesión con la petición INVITE al servidor proxy, este

responde con un mensaje de TRYING 100 para confirmar la recepción de la petición y reenvía esta hacia el usuario B, identificándolo por el URI suministrado en la petición de establecimiento.

Cuando el terminal B empieza a sonar, responde al proxy con el mensaje RINGING 180 y este lo reenvía al terminal A. La sesión queda establecida cuando el usuario B descuelga el teléfono, y envía el mensaje de éxito 200 OK al terminal A través del proxy. El terminal A envía un ACK confirmando el establecimiento de la sesión.

Establecida la sesión, el protocolo RTP/RTCP se encarga de la transmisión de los paquetes de voz, conociendo los parámetros de la transmisión descubiertos previamente utilizando el protocolo SDP.

Finalmente, el usuario A cuelga el teléfono y se envía el mensaje BYE al terminal B mediante el proxy. El terminal B responde con un ACK confirmando el término de la sesión.

1.1.3 IAX

Inter-Asteisk eXchange [17], es un protocolo usado por la PBX basada en VoIP: Asterisk, para su interconexión con otros servidores y dispositivos que soporten este protocolo. IAX trabaja a nivel de aplicación, e implementa las funciones necesarias para manejar las dos plataformas presentes en un sistema de ToIP: señalización y flujo de media. Este protocolo es una propuesta moderna pensada para cubrir las deficiencias y problemas que se han podido observar utilizando los otros protocolos de VoIP (SIP, H.323) en implementaciones reales.

IAX utiliza un único puerto UDP (4569) para las transmisiones de los flujos más comunes de media, siendo VoIP su punto más fuerte, brindando un soporte nativo para la transparencia ante sistemas NAT (*Network Address Translation*). La situación se presenta distinta en SIP y H.323, dado que utilizan el protocolo RTP que no define puertos específicos para el flujo de media, por lo que presentaba deficiencias en estos ámbitos.

IAX es un protocolo “liviano” y optimizado para VoIP que hace un uso más eficiente del ancho de banda y reduce el *overhead* de las transmisiones, dado que se usa un mismo protocolo para la señalización y el flujo de media. Además está desarrollado para cubrir las necesidades de transmisión de los flujos de media más comunes (voz, video), y no es demasiado general como los otros protocolos que están orientados a brindar un soporte “total” para numerosas aplicaciones multimedia, resultando más flexibles pero contribuyendo también al aumento del *overhead*.

La versión actual del protocolo es IAX2 (versión 2), siendo referido indistintamente como IAX o IAX2 para cualquier fin.

1.1.3.1 IAX URI

Los IAX URI (*Uniform Resource Identifiers*) identifican a una entidad y a diferencia de las SIP URI, se basa en la RFC 2526, donde se detallan consideraciones sobre las direcciones *anycast* reservadas en IPv6. Un IAX URI tiene el siguiente formato:

`iax2:usuario@dominio:puerto/número?contexto`

Los parámetros comunes que se encuentran son los nombres del protocolo, usuario y dominio y el puerto UDP a utilizar (por defecto el 4569). El número y

contexto sirven para identificar el recurso y la partición del *host* en el cual se procesa el servicio.

1.1.3.2 Mensajes IAX

A diferencia de los otros protocolos, IAX maneja los planos de control y flujo de media, por lo que implementa diversos mensajes para ambos fines.

En general los mensajes se pueden dividir en: confiables y no confiables, los primeros se transmiten usando tramas completas (*full-frames*) y los últimos hacen uso de mini-tramas (*mini-frames*) y meta-tramas (*meta-frames*). Ambos tipos de tramas son detalladas en la siguiente sección.

Existen grupos de mensajes IAX definidos para cada una de las siguientes áreas funcionales: registro, gestión de enlace de las llamadas, optimización del camino de las llamadas, comportamiento de llamada intermedia, finalización de la llamada, monitoreo de la red, marcado de dígitos, descarga de *firmware*, aprovisionamiento y mensajes de media.

IAX define más de 40 mensajes distribuidos en los grupos funcionales mencionados anteriormente. A continuación la descripción de los mensajes más comunes presentes en una llamada convencional:

- REGREQ/REGAUTH/REGACK: mensajes para el registro de un terminal (en adelante referido como 'par').
- NEW: inicia un intercambio de media entre dos pares.

- AUTHREP/AUTHREQ: se intercambian luego de un mensaje NEW si la autenticación es requerida.
- ACCEPT/REJECT: confirman la recepción de un mensaje NEW. En el caso de ACCEPT, se indica el *codec* a utilizarse en la llamada.
- DPREQ/DPREP: verifican la validez de la extensión marcada. Se da en pares que no manejan su propio plan de marcación.
- DIAL: ejecuta el marcado de una extensión.
- PROCEEDING: enviado por un tercero (*proxy*) al par llamador indicándole que su petición está siendo procesada.
- RINGING: enviado por el par llamado, confirma el proceso de una petición de llamada e indica que el usuario remoto está siendo alertado
- ANSWER: indica la aceptación de una llamada.
- ACK: confirmar la recepción de una trama completa que no tiene un mensaje de respuesta definido.
- HANGUP: indica el término de una llamada.

1.1.3.3 Cabecera IAX

Como se menciona anteriormente, existen básicamente 3 tipos de tramas: completas (confiables), mini-tramas y meta-tramas (no confiables).

- *Meta indicator*, son 15 bits puestas a cero, de manera que una trama con los 16 primeros bits puestas a 0 se reconoce como una meta-trama.
- *V*, indica si se trata de una meta-trama de video.
- *Meta command*, 7 bits que indican si se trata de una trama de *trunking* (valor 1). Los demás valores se reservan para uso futuro.
- *Cmd Data*, banderas para las opciones propias de tramas *trunking*.

1.1.3.4 Llamadas IAX

En la figura 1.6 se muestra un diagrama donde se detallan las transacciones y mensajes involucrados en el establecimiento, ejecución y término de una llamada entre terminales IAX a través de un servidor proxy.

En este esquema los terminales IAX no manejan su propio plan de marcación. Inicialmente se intercambian los mensajes necesarios para el registro y autenticación de los terminales con el servidor, luego el terminal A muestra su intención de establecer una llamada con el mensaje NEW, el servidor *proxy* acepta con el mensaje respectivo y este es confirmado.

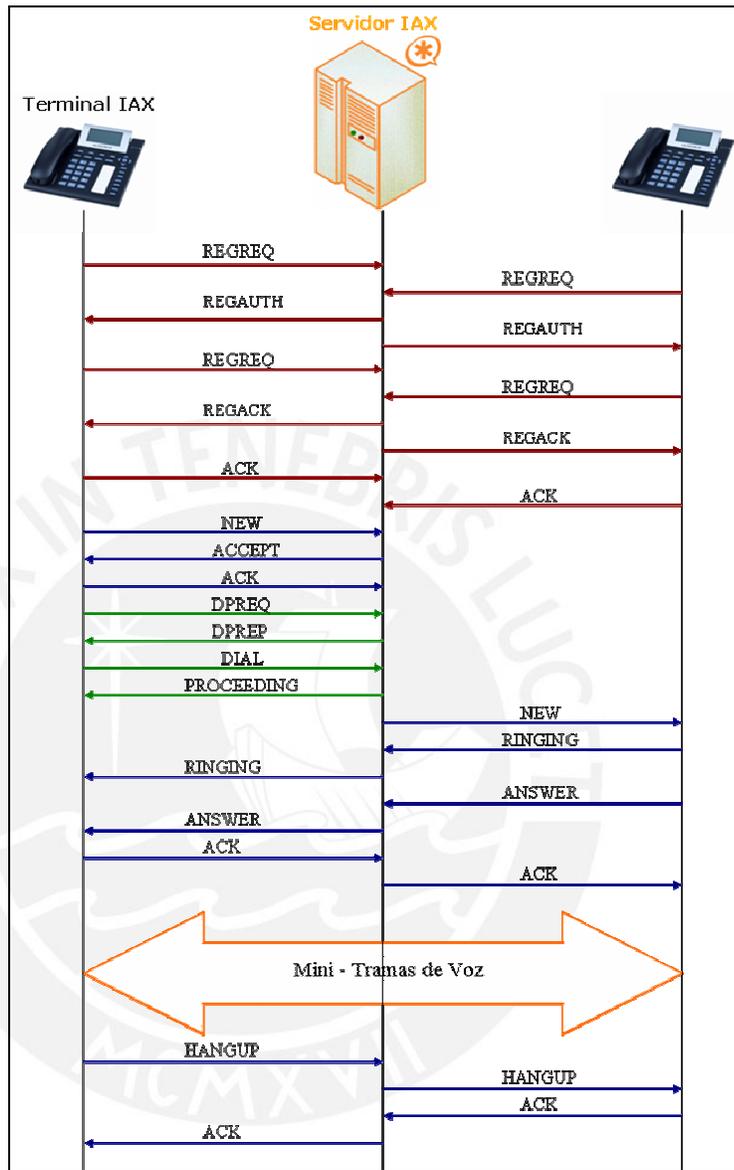


FIGURA 1.6. SEÑALIZACIÓN Y FLUJO DE MEDIA EN UNA LLAMADA IAX

Seguidamente se intercambian los mensajes DPREQ y DPREP para la validación de la extensión marcada por el usuario A. Luego se envía el mensaje DIAL para efectuar la marcación, el servidor *proxy* devuelve el mensaje

PROCEEDING para informarle al par llamador que su llamada se encuentra en proceso.

El *proxy* contacta al terminal llamado con el mensaje NEW, este responde con el RINGING correspondiente y con ANSWER cuando la llamada es atendida. El proxy redirecciona todas las respuesta al terminal llamador, este confirma las respuestas y se da el flujo de paquetes de voz en mini-tramas.

Finalmente, el usuario A cuelga el teléfono y se envía el mensaje HANGUP al terminal B mediante el proxy. El terminal B responde con un ACK confirmando el término de la sesión.

1.2 PBX

Private Business Exchange [1], es una central de conmutación privada, ubicada en el local de la empresa que requiere el servicio. Los principales objetivos de este sistema son: el facilitar la comunicación entre los usuarios de una empresa y la minimización de costos que conllevaría el contratar una línea de abonado por cada punto de la empresa que requiera acceso telefónico. Además, se evita la utilización innecesaria de recursos externos para establecer y llevar a cabo una llamada entre usuarios de la misma empresa, haciendo más eficiente el sistema.

El término PABX (Private Automatic Business Exchange) [1] hace referencia a la versión automatizada de estas centrales privadas, donde el proceso de conmutación no requiere de la intervención de una persona que conecte y desconecte cables como en las obsoletas PMBX [1] (Private Manual Business Exchange). En adelante, los términos PABX y PBX serán considerados como sinónimos.

A grandes rasgos está compuesta por 3 elementos:

- La central de conmutación
- Líneas troncales hacia otras centrales y/o PBXs
- Líneas alámbricas y/o inalámbricas hacia las estaciones de los usuarios.

1.2.1 Asterisk

Asterisk [5] es una completa solución de PBX basada en software, disponible para múltiples plataformas bajo los sistemas operativos Linux, BSD, MacOSX y otros. Las llamadas en el sistema disparan funciones a través de patrones de dígitos (mejor conocidos como extensiones), ofreciendo un completo control sobre el enrutamiento de las mismas con relativa facilidad. Incluye funcionalidades encontradas en los sistemas de comunicaciones más recientes tales como correo de voz, colas de llamadas, conferencias, audio respuesta, música en espera y otras funcionalidades más avanzadas que permiten la interconexión con sistemas de telefonía externos a través de troncales analógicas, digitales o las más avanzadas opciones del estado del arte con interfaces para VoIP tales como SIP, H.323, IAX y otros más no sólo para comunicaciones de voz sino incluso para video.

Asterisk es una PBX de código abierto con soporte para voz sobre paquetes y TDM, además ofrece una plataforma IVR (*Interactive Voice Response*) con funcionalidad ACD (*Automatic Call Distributor*). Este proyecto fue creado y desarrollado principalmente por Digium, y es distribuido bajo los términos de GPL (*GNU General Public License*).

Entre sus principales aplicaciones destacan: IP PBX, servidor de conferencia, correo de voz (*voicemail*), servidor IVR personalizado, gateway VoIP heterogéneo y aparcamiento de llamadas.

1.2.1.1 Tecnología Soportada

A grandes rasgos Asterisk soporta tres tipos de tecnologías [6]:

- Interfaces Pseudo TDM Zaptel, basadas en el juego de *drivers* de telefonía Zapata (proyecto de código abierto). Estas interfaces brindan interoperabilidad con las líneas digitales y analógicas de la telefonía convencional: PSTN, POTS, T1, E1, ISDN PRI, PRA, E&M, entre otras.
- Interfaces adicionales (no Zaptel), que proveen conectividad a los servicios de la telefonía convencional pero no soportan la conmutación pseudo TDM.
- 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, VoFR (*Voice over Frame Relay*) y MGCP (*Media Gateway Control Protocol*).

En la tabla 1.3 se muestran los *codex* soportados por Asterisk, permitiendo su traducción entre ellos en tiempo real. [6]:

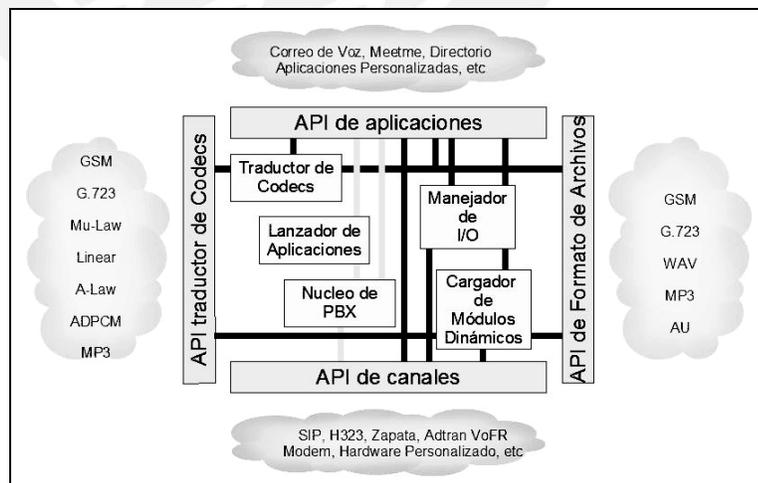
TABLA 1.3. CODECS SOPORTADOS POR ASTERISK

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

También soporta los *codecs*: G.729 (8 kbps) y G.723.1 (5.3-6.3 kbps), pero se requiere de una licencia para la utilización de estos, sin embargo pueden ser pasados transparentemente.

1.2.1.2 Arquitectura

Asterisk fue desarrollado con una interfaz confiable y potente entre las herramientas de telefonía (tanto software como hardware) y las aplicaciones más avanzadas de VoIP [6].



Fuente: Spencer, Mark. "Asterisk Handbook" Version 2. Digium, Inc. 2005.

FIGURA 1.7. ARQUITECTURA DE ASTERISK

En el arranque, el Cargador de Módulos Dinámico carga e inicializa los *drivers* de canales, formatos de archivo, *codecs*, aplicaciones y otros, utilizando los APIs apropiados. El núcleo de conmutación PBX empieza a recibir y manejar las llamadas de acuerdo al plan de marcación (*dial plan*), utilizando el lanzador de aplicaciones para hacer timbrar teléfonos, conectarse a un correo de voz, marcar por las líneas troncales, etc.

Otros elementos importantes de su arquitectura son: el traductor de *codecs*, que permite la comunicación entre canales que utilizan diferentes *codecs*, y el programador y gestor de entradas y salidas (I/O) a ser usado por los *drivers* y aplicaciones [5].

1.2.2 WPBX

Wireless Private Business Exchange [1], es una central PBX que puede brindar los servicios de telefonía a través de una plataforma inalámbrica como red de acceso para los usuarios. En este sistema los usuarios reciben las mismas prestaciones que ofrecen las extensiones fijas conectadas a la PBX, pero con las facilidades de un terminal portátil de bolsillo.

Con la introducción de este sistema se logra dar a la empresa los siguientes beneficios:

- Aumento de la disponibilidad de los empleados
- Localización inmediata de los usuarios
- Fácil reubicación de los puestos de trabajo
- Reducción del número de llamadas no atendidas

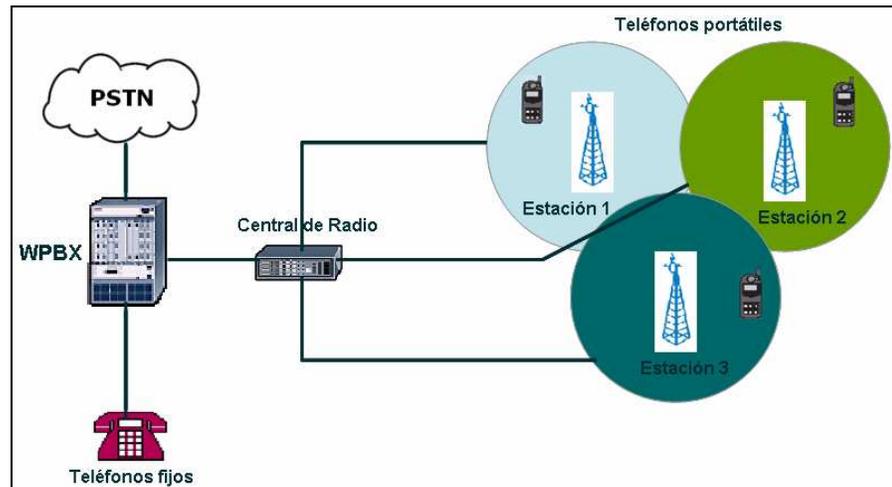


FIGURA 1.8. ESQUEMA DE UNA WPBX

1.3 Propagación en Áreas Cercanas: Pico-células

Una pico-célula [2] es un área de cobertura de menores dimensiones (10 – 100 metros) determinada por el rango de alcance de la antena de una estación base.

En el presente diseño, se propone una red multicelular basada en pico-células para la atención de la demanda móvil de los usuarios de la empresa, dadas las características y facilidades de este sistema para este fin.

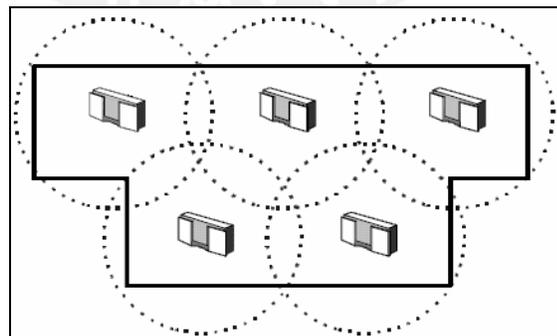


FIGURA 1.9. RED MULTICELULAR BASADA EN PICO-CÉLULAS.

En la actualidad existen varias tecnologías que se presentan como posibles soluciones para el diseño de una red celular privada, entre las que destacan: DECT [4] y Wi-Fi [9].

Para la elección de una de estas dos tecnologías, un punto importante a considerar es que Wi-Fi fue desarrollado inicialmente como una tecnología WLAN para la transmisión de datos y no voz [9], y aunque es ideal en el sentido de que se tendrían comunicaciones VoIP *End-to-End* (E2E) en la red local, presenta algunos problemas respecto al retardo en el traspaso intercelular (*handover*) [2]. Otro punto importante a considerar es que de utilizarse DECT para el acceso inalámbrico, sería necesario el uso de *gateways* entre DECT y el protocolo VoIP utilizado en el lado cableado de la red, dado que el estándar DECT se define en la 3 primeras capas del modelo OSI y maneja un protocolo de nivel de red propio [4], diferente a IP.

Realizado el análisis comparativo, se optó por la utilización de Wi-Fi, dado que existe un gran interés en su desarrollo como plataforma inalámbrica de las aplicaciones de la Telefonía IP, y en miras a la convergencia e integración de los servicios sobre una plataforma común: el Protocolo de Internet. Además, aunque DECT es una tecnología que ya ha sido bastante desarrollada y optimizada desde sus inicios que datan de 1993, y el rubro de las PBX inalámbricas se ha constituido como su campo de aplicación principal [4], no se presenta como una tecnología apropiada para la convergencia de los servicios de telecomunicaciones y no se espera mayor desarrollo en este aspecto.

1.3.1 Wi-Fi

Wireless Fidelity por lo que mejor puede expresar su nombre. Wi-Fi es una marca originalmente licenciada por la *Wi-Fi Alliance* para indicar el cumplimiento de un determinado producto con la tecnología de las redes inalámbricas de área local (WLAN)

basadas en las especificaciones de la IEEE 802.11 [4]. Este estándar fue desarrollado inicialmente para ser usado en dispositivos móviles de computación, tales como laptops en redes LAN, pero hoy en día esta tecnología se encuentra siendo desarrollada para la prestación de más servicios, incluyendo Internet y acceso inalámbrico para sistemas de Telefonía IP.

Wi-Fi opera en la banda de 2.4 GHz con las especificaciones 802.11b [10] y 802.11g [12], mientras que hace uso de la banda de los 5 GHz con las especificaciones 802.11a [11]. Ambas bandas de frecuencia son no – licenciadas y no protegidas, y los canales disponibles en cada una de ellas se encuentran debidamente estandarizados.

TABLA 1.4. PARÁMETROS DE LA FAMILIA DE ESTÁNDARES 802.11

Parámetro	802.11a	802.11b	802.11g
Máxima Tasa de Transmisión	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps
Número de canales (sin solapamiento)	23	3	3
Espectro	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Modulación (a las tasas más altas)	OFDM	CCK	OFDM

Fuente: IEEE 802.11 a/b/g standards.

La primera especificación en ser adoptada a gran escala fue la 802.11b, la cual cubría las principales necesidades de las WLAN, básicamente la movilidad. Posteriormente surgieron la 802.11a y la 802.11g las cuales ofrecían mayores tasas de transmisión y se adaptaban mejor a las crecientes necesidades de mayor ancho de banda y el uso de mayores servicios que lo demanden, sin embargo, el estándar 802.11g resultó ser el más aceptado dado que ofrecía compatibilidad con los sistemas 802.11b que ya

habían sido largamente desplegados e implementados en diversos entornos comerciales y empresariales.

1.3.2 Consideraciones de Planeamiento

Dadas las características de la utilización del medio inalámbrico para la red de acceso de tipo PAN y/o LAN, donde se suele encontrar paredes, pisos y otras fuentes de reflexión, se deberán tomar las consideraciones necesarias para el planeamiento y desarrollo de este sistema. Estas consideraciones recaen directamente en la calidad de la cobertura de radio que se ofrecerá en cada célula y en la capacidad del sistema [2].

1.3.2.1 Cobertura de radio

El planeamiento de cobertura de radio en interiores merece un trato especial, dado que en situaciones reales las atenuaciones de las paredes y pisos en los edificios pueden variar drásticamente de un lugar a otro, dependiendo de la naturaleza y la estructura de estos. Es por este motivo que se recoge el modelo estipulado en la recomendación P.1238 de la UIT-R: “Datos de Propagación y Métodos de Predicción para el Planeamiento de Sistemas de Radiocomunicación en Interiores y Redes de área Local en el Rango de Frecuencia de 900 MHz a 100 GHz” [3], y se utilizará para el planeamiento de los enlaces de radio y la cobertura de la red de acceso inalámbrica.

FÓRMULA MATEMÁTICA

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

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: Recomendación P.1238 UIT-R

FIGURA 1.10 MODELO DE PROPAGACIÓN EN INTERIORES

El coeficiente de pérdida y el factor de penetración, mencionados en la fórmula del modelo, serán calculados a partir de las tablas 1.5 y 1.6 en función a las características particulares del ambiente de aplicación y la frecuencia de operación de la tecnología inalámbrica a usar. Como se verá más adelante, este ambiente se trata de un área de oficina típico con paredes y pisos como obstáculos de propagación operando en la banda ISM de 2.4 GHz.

TABLA 1.5. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PÉRDIDA

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

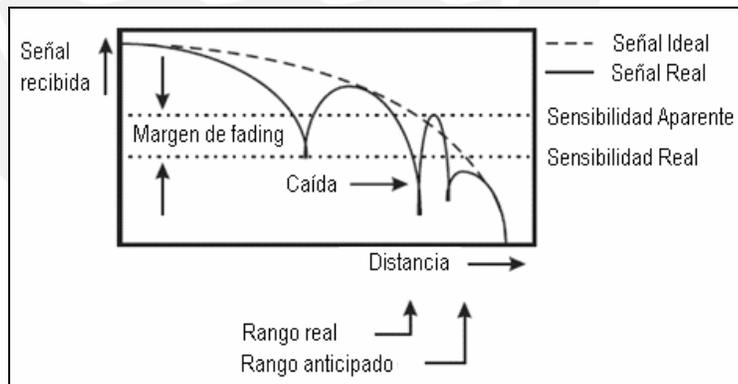
Fuente: Recomendación P.1238 UIT-R

TABLA 1.6. CÁLCULO DEL FACTOR DE PENETRACIÓN

Banda de Frecuencia	Número de Pisos	Área Residencial	Área de Oficina	Área Comercial
900 MHz	1	N/A	9	N/A
900 MHz	2	N/A	19	N/A
900 MHz	3	N/A	24	N/A
1.8 GHz	n	4 n	15+4(n+1)	6+3(n-1)
2.0 GHz	n	4 n	15+4(n-1)	6+3(n-1)
5.2 GHz	1	N/A	16	N/A

Fuente: Recomendación P.1238 UIT-R

También se deberán tener en cuenta los efectos destructivos del efecto multicamino y el *fading* [2], por lo que se deberá considerar un margen de *fading*. Este margen, es en efecto la disminución del rango de cobertura o la reducción de la sensibilidad actual del receptor a una sensibilidad aparente.



Fuente: Sendín Escalona, Alberto. “Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles” McGraw-Hill, 2004

FIGURA 1.11 MARGEN DE FADING

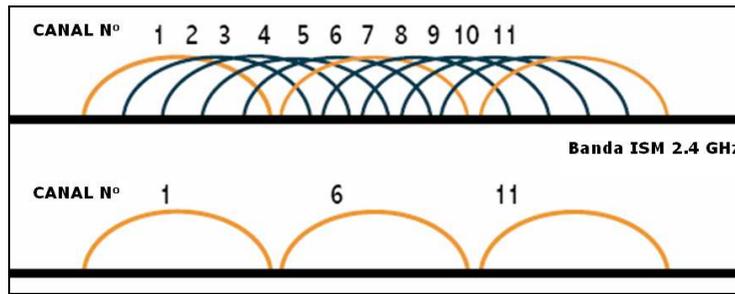
1.3.2.2 Capacidad del sistema

Aún cuando hoy en día la problemática en cuanto al diseño de redes WLAN utilizando Wi-Fi recae principalmente (por no decir totalmente) en la cobertura

de radio que es capaz de ofrecer, si lo que se quiere es desplegar servicios que demanden recursos en tiempo real, tales como telefonía y video, se debe prestar una especial atención a la capacidad de la red y la cantidad de usuarios que van a poder hacer uso de estos servicios que se desea brindar en un momento determinado.

Si bien es cierto, el medio inalámbrico puede ofrecer hasta 54 Mbps como velocidad de transmisión en el medio compartido y se podría pensar que no habrían problemas respecto a disponibilidad del ancho de banda tal y como en las redes Fast-Ethernet (100 Mbps), se debe tomar en cuenta que el medio inalámbrico es altamente sensible a la interferencia y más aún siendo una banda no licenciada y desprotegida, los efectos sobre la tasa efectiva de transmisión (*throughput*) pueden reducirla drásticamente [8], y si a esto le añadimos las interferencias, colisiones y latencia ocasionadas dentro de la misma red (como consecuencia de la competencia por el acceso al medio compartido), hay que prestarle una atención especial al tema de la capacidad efectiva disponible.

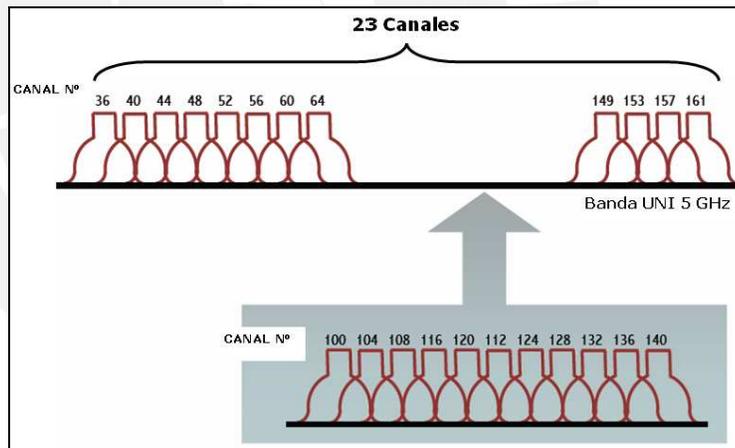
En las figuras 1.13 y 1.14 se muestran los canales sin traslape que ofrece cada uno de los estándares 802.11 a/b/g. Definitivamente el hecho de poder hacer uso de mayor cantidad de canales de frecuencia es la virtud del estándar 802.11a, pudiendo hacer un uso simultáneo de hasta 23 canales sin traslape entre ellos. Con los estándares 802.11b y 802.11g solo se pueden encontrar 3 canales libres de interferencias mutuas.



Fuente: IEEE 802.11 b/g standards.

FIGURA 1.12 CANALES DISPONIBLES – 802.11b/g

Si bien es cierto, no todos los equipos compatibles con el estándar 802.11a soportan el uso de 23 canales simultáneamente [8], se garantiza su operación en al menos 12 de estos, los cuales fueron definidos en sus publicaciones iniciales.



Fuente: IEEE 802.11 a Standard.

FIGURA 1.13 CANALES DISPONIBLES – 802.11a

En la tabla 1.7 se muestra un cuadro comparativo sobre la capacidad máxima que se puede alcanzar usando los diversos estándares 802.11, en función a las tasas máximas de transmisión que pueden alcanzar y el número máximo de canales sin traslape que se pueden utilizar.

TABLA 1.7. COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS ESTÁNDARES 802.11

Estándar	Tasa Máxima por Canal	Número de Canales sin traslape	Capacidad Máxima
802.11a	54 Mbps	23	1.24 Gbps
802.11b	11 Mbps	3	162 Mbps
802.11g	54 Mbps	3	33 Mbps

Fuente: IEEE 802.11 a/b/g standards.

Se puede encontrar claramente que la ventaja del estándar 802.11a de tener mayor espectro de frecuencia (número de canales) disponible, aumenta considerablemente la capacidad de red que puede brindar, posibilitando el acceso a más y mejores servicios, así como también optimiza el planeamiento celular y el reuso de frecuencias [2] minimizando la interferencia cocanal entre las celdas que operan en el mismo canal de frecuencia. Esto se muestra en las figuras 1.13 y 1.14.

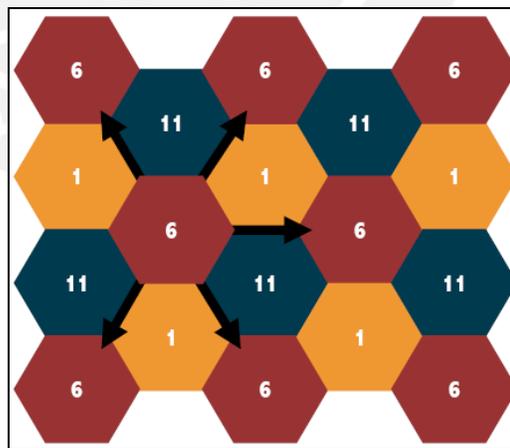


FIGURA 1.14 PLANEAMIENTO DE CELDAS Y REUSO DE FRECUENCIAS CON EL ESTÁNDAR 802.11b/g



FIGURA 1.15 PLANEAMIENTO DE CELDAS Y REUSO DE FRECUENCIAS CON EL ESTÁNDAR 802.11a

Definitivamente el estándar 802.11a es el más apropiado en cuanto a capacidad se refiere [8] y se espera que sea el propulsor de las aplicaciones de banda ancha en los próximos años. Sin embargo, su incompatibilidad con los “tradicionales” sistemas 802.11b le han impedido lograr el gran nivel de desarrollo y adopción que ha logrado el estándar 802.11g, razón por la disponibilidad de equipos 802.11a es bastante escasa en el mercado actual (relativamente hablando).

Capítulo 2

Localización del Proyecto

En este capítulo se presentan los detalles de estructura, infraestructura y requerimientos de una empresa llamada “Futura SA”, donde se realizará el diseño de la red de voz y de datos unificada.

2.1 Perfil de la Empresa

Futura SA es una compañía minera dedicada a la extracción de cobre en las principales minas del país, sus operaciones comerciales son centralizadas y se llevan a cabo en un único edificio que se constituye como la sede de la empresa. Como es de suponerse, las comunicaciones telefónicas son el principal medio por el cual la empresa se contacta con sus proveedores y clientes, razón por la cual requiere de un sistema de telefonía con gran confiabilidad y eficiencia.

Futura SA cuenta con un grupo multidisciplinario de trabajadores, con el fin de cubrir todos los requerimientos técnicos, administrativos y legales que involucran sus actividades. Este grupo está compuesto por 150 personas que laboran en el edificio, de los cuales 96 requieren del servicio de telefonía que se va a diseñar.

2.2 Arquitectura de red actual

Futura SA ha venido operando cinco años en el mercado nacional, y actualmente cuenta con redes independientes para abastecerse de los servicios de transmisión de voz y de datos.

La red de voz está basada en un sistema PBX convencional, al cual se conectan todos los teléfonos y faxes de los usuarios. Esta central privada se conecta a la PSTN mediante un circuito E1 (30 canales) provisto por el operador local. También cuenta con un sistema de correo de voz para la grabación de mensajes y atención de estos ante la indisponibilidad de los usuarios.

La red de datos está constituida por una red LAN *Ethernet/IP* con una conexión a Internet de 2 Mbps, servicio que es provisto por un operador local.

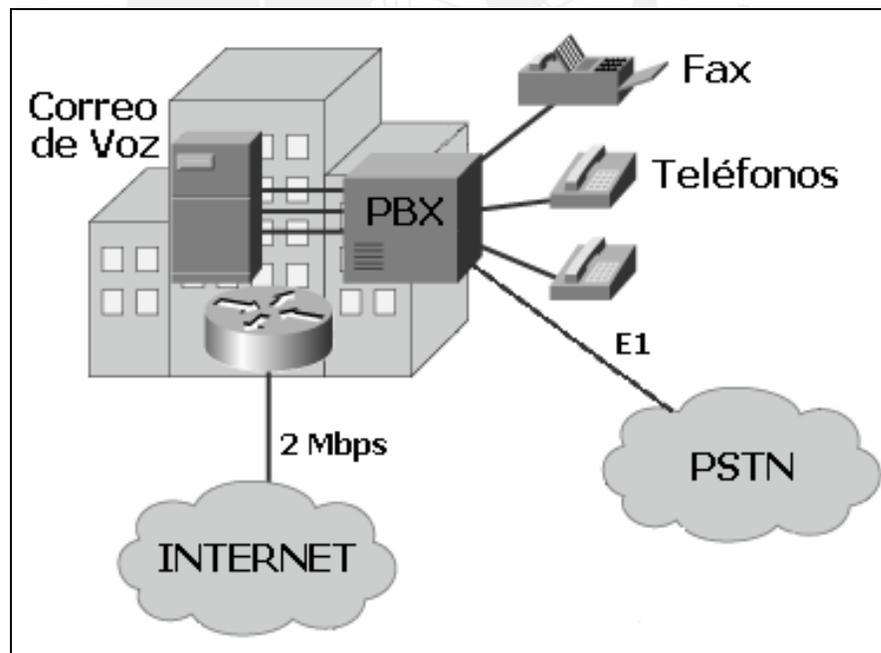


FIGURA 2.1 ARQUITECTURA DE RED DE FUTURA SA

Esta solución era la mejor en el tiempo en el que Futura SA desplegó su red, sin embargo actualmente ha venido experimentando algunos inconvenientes por el hecho de utilizar sistemas propietarios que no son nada flexibles y dificultan la escalabilidad tanto técnica como económicamente.

2.3 Estructura de la empresa

Como ya se mencionó en la sección 2.1, las operaciones de Futura SA son centralizadas, estas se llevan a cabo en un edificio de tres pisos que cuenta con la infraestructura necesaria para el desarrollo de sus actividades.

Los planos de planta de cada piso, que detallan la estructura interna en cada uno de ellos, se encuentran adjuntos como anexos.

Las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 muestran los planos de cada piso, indicando los puntos donde actualmente se encuentran instalados anexos telefónicos del sistema.

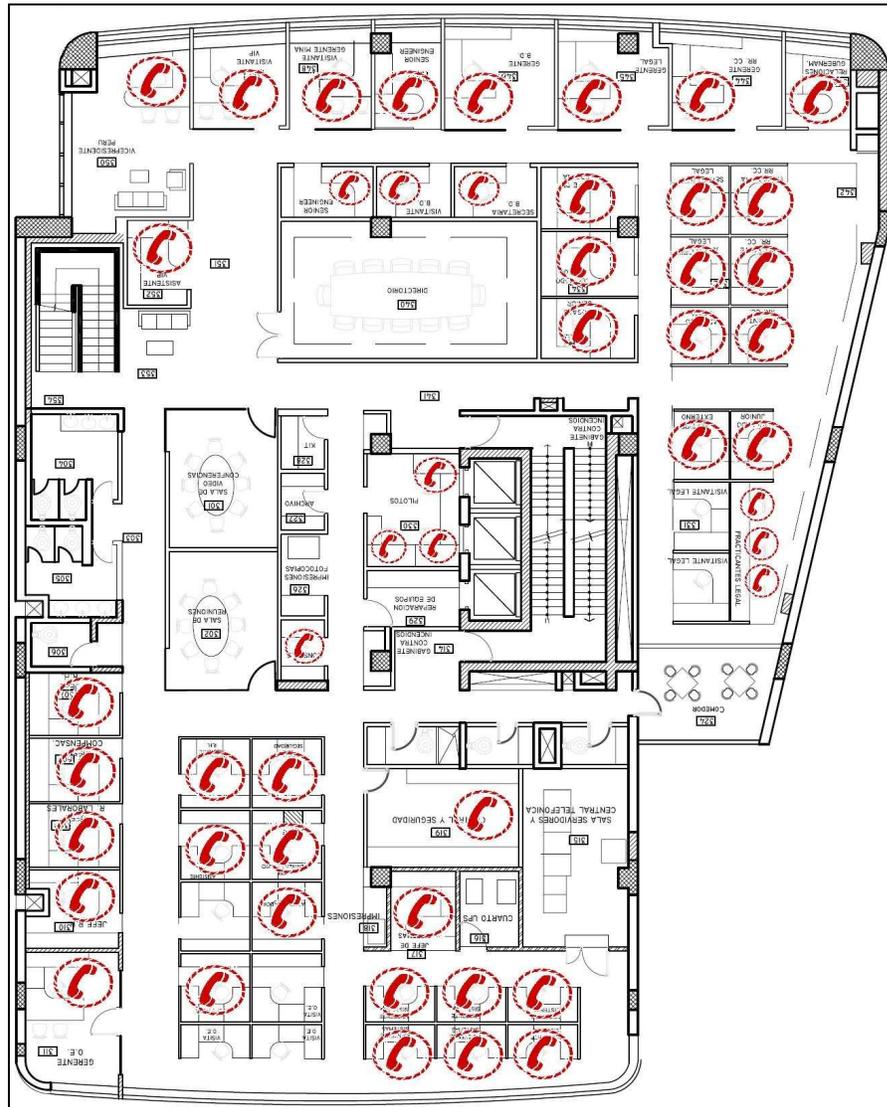


FIGURA 2.2 PLANO DE PLANTA FUTURA SA - SEGUNDO PISO

2.4 Requerimientos de servicio

Los principales requerimientos de FUTURA SA son la alta confiabilidad del sistema y la seguridad que debe tener la red a implementarse, estos detalles son cubiertos en una sección posterior correspondiente al diseño de la red. En esta sección se detallan los requerimientos de la empresa sobre las características que el sistema de telefonía a implementarse debe brindar, así como algunas consideraciones sobre la convivencia con las aplicaciones de la red de datos.

2.4.1 Servicios de Telefonía

Existen varios servicios que son brindados actualmente por la PBX convencional, la empresa requiere que estos se sigan brindando para minimizar el impacto del cambio en los usuarios.

Estos servicios son:

- Parqueo de llamadas (*Call park*)
- Transferencia de llamadas (*Call transfer*)
- Conferencia Ad-hoc
- Marcado rápido
- Llamada de vuelta (*Call back*)
- Recogida de llamadas (*Call pickup*)
- Desvío de llamadas (*Call forwarding*)
- Llamada en espera (*Call waiting*)
- Música en espera (*Music on hold*)

- Grabación detallada de llamadas (*CDR*)
- Historial de llamadas (*Call History*)
- Operadora automática (*Automated Attendant IVR*)

Los principales servicios brindados por el sistema de correo de voz son: notificación de mensajes, indicador de mensajes en espera, alternado de saludos, servicio de directorio, buzones grupales o listas de distribuciones, acceso remoto a buzón, y quince minutos de almacenamiento por buzón.

Además, previendo un sistema de telefonía basado en IP se espera contar con los siguientes servicios:

- Soporte para conferencia
- Consola de configuración (GUI basada en web)
- Múltiples líneas por teléfono
- Distribución automática de llamadas (ACD)
- Movilidad
- Soporte para *softphones* (teléfonos virtuales) y anexos remotos

2.4.2 Servicios de Datos

Las principales aplicaciones utilizadas por los usuarios de la empresa son: transferencia de archivos, servicios web, correo electrónico y almacenamiento y acceso a bases de datos. No hay mayores especificaciones respecto a servicios de este tipo por parte de la empresa, únicamente lograr la convivencia sin problemas de las aplicaciones de voz y de datos.

Capítulo 3

Ingeniería del Proyecto

En el presente capítulo se presenta el diseño del sistema de telefonía IP para Futura SA, cubriendo todos los aspectos respecto al desarrollo e implementación de las aplicaciones de telefonía más importantes, así como las consideraciones necesarias respecto a la propia red IP.

3.1 Arquitectura de la Red

La arquitectura de la red propuesta consiste en una red jerárquica, considerando varios niveles de conmutación de paquetes IP para alcanzar los niveles óptimos respecto a la calidad de servicio y eficiencia del sistema, así como la redundancia y confiabilidad que se debe ofrecer. En la figura 3.1 se muestra el sistema a implementar, pudiéndose dividir funcionalmente en las siguientes partes:

- Central de conmutación, servidor Asterisk.
- Red de acceso a la PSTN, constituida por líneas digitales convencionales y líneas troncales SIP hacia proveedores VoIP.

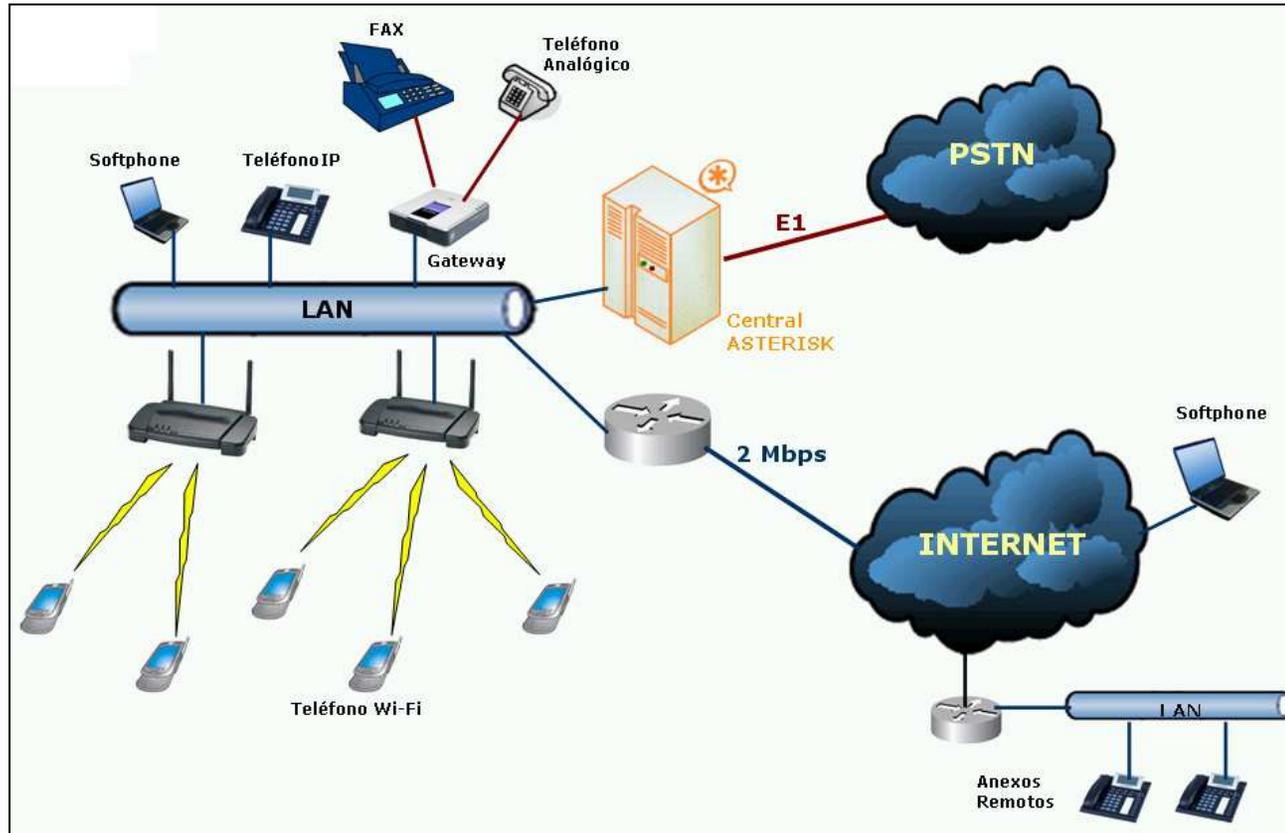


FIGURA 3.1 ARQUITECTURA DE RED PROPUESTA

- Planta externa, constituida por la red de acceso inalámbrica para los terminales telefónicos, los conmutadores y los nodos de la red LAN.

3.2 Central de Conmutación

La central de conmutación se trata de un servidor Linux corriendo Asterisk como núcleo de conmutación, así como los distintos módulos complementarios (*Libpri* y *Zaptel*) que le permitirán interactuar con los sistemas de telefonía tradicional y la PSTN. Además se hace uso de algunas herramientas *open source* para facilitar la gestión y administración del sistema de telefonía y el software involucrado.

En la tabla 3.1 se detallan las principales características del hardware sobre el cual está implementada la central de conmutación. La elección de estos componentes se basa en experiencias prácticas, de acuerdo a los niveles de tráfico y el consumo de recursos estimado para la demanda de FUTURA S.A. Este hardware será debidamente testeado y sometido a las pruebas necesarias más adelante, para garantizar los niveles mínimos de servicio especificados.

TABLA 3.1. HARDWARE DE LA CENTRAL ASTERISK

Ítem	Descripción
Procesador	INTEL PENTIUM IV 3.0 GHz
Tarjeta Madre	INTEL D865GSAL con módulos integrados
Memoria	DDR KINGSTON 1.0 GB
Disco Duro	SAMSUNG 80 GB SATA
Interfaz E1	Tarjeta PCI Digium TE110P

En la tabla 3.2 se presentan los detalles respecto al sistema operativo, módulos y paquetes instalados en la central.

TABLA 3.2. SOFTWARE DE LA CENTRAL ASTERISK

Ítem	Descripción
Sistema Operativo	Linux CentOS 4.4
Kernel	Versión 2.6.9 – 42
Asterisk	Versión 1.2.13
Zaptel	Versión 1.2.11
Libpri	Versión 1.2.4
Asterisk-addons	Versión 1.2.5
Asterisk-sounds	Versión 1.2.1
FreePBX	Versión 2.1.3

3.2.1 Señalización y Codecs

El protocolo de señalización VoIP a utilizar será el estándar SIP, dado que es una tecnología bastante desarrollada y difundida en el mercado de la telefonía IP. Alternativamente se puede usar el protocolo IAX para algunos anexos remotos que utilicen *softphones* (dado que existen muy pocos teléfonos IAX) o para interconectar eficientemente la central Asterisk principal con una secundaria (de darse el caso) dado que es una de las razones de ser de este protocolo.

El principal *codec* a utilizar será el estándar abierto G.711 ulaw, el cual será usado en la red interna dadas sus altas prestaciones respecto a calidad de voz [6] y considerando que en la red *Ethernet LAN* se dispone de un ancho de banda de 100 Mbps. Alternativamente se utilizará el *codec* GSM en el caso de necesitar ajustar el consumo de ancho de banda en la red LAN, y para el flujo RTP en las troncales hacia los proveedores VoIP pues necesariamente se utilizarán recursos de Internet como se verá más adelante.

3.2.2 Dimensionamiento de la Central

Según las estadísticas brindadas por la sección encargada de la operación y mantenimiento del sistema de telefonía de Futura SA, se obtiene que el número promedio de llamadas simultáneas que manejaba su central era de 26:

La central Asterisk deberá ser capaz de manejar como mínimo, el mismo número de llamadas simultáneas que se tenía en el sistema tradicional anterior. En cuanto a central se refiere, el gran factor limitante es el hardware (CPU y memoria) sobre el cual está montada, dado que este determinará cuantas llamadas puede ser capaz de establecer y mantener antes de colapsar y que se empiecen a perder peticiones de conexión.

Para el testeado de la central se hizo uso de “Asteritest”, una herramienta que puede monitorear la carga de CPU de un servidor Asterisk a la vez que se originan peticiones consecutivas de establecimiento de llamadas. De esta forma, se puede determinar el momento en el que colapsa el Servidor puesto a prueba y cuantas llamadas simultáneas fue capaz de manejar hasta ese instante, siendo ese el límite aproximado.

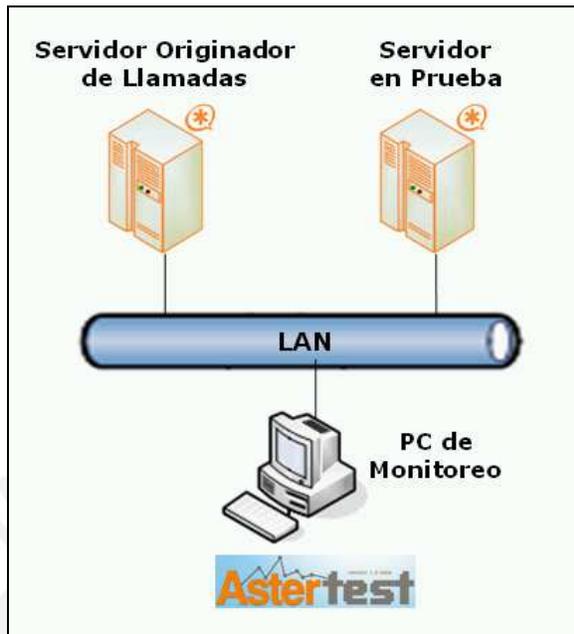


FIGURA 3.2 ESCENARIO DE PRUEBA ASTERTEST

La herramienta “AsterTest” es ejecutada en una PC dentro de la misma red LAN corriendo Windows XP, esta se conecta a un primer servidor para que inicie las llamadas consecutivamente y a la vez monitorea el comportamiento del servidor en prueba. Los parámetros usados para el testeo de la central fueron los siguientes:

TABLA 3.3. PARÁMETROS DE TESTEO ASTERTEST

Cantidad de Llamadas	Hasta colapsar el servidor
Velocidad	Normal
Señalización	SIP
Transcodificación	No
Codec Origen/Destino	G.711 ulaw

En las figuras 3.4 y 3.5 se muestran los resultados del testeo, con lo que se puede concluir que el hardware de la central puede

soportar un promedio de hasta 200 llamadas SIP concurrentes sin transcodificación. Por lo tanto, a nivel de *hardware* de central, se cumple con el requerimiento de soportar como mínimo las 26 llamadas simultáneas que manejaba el sistema anterior.

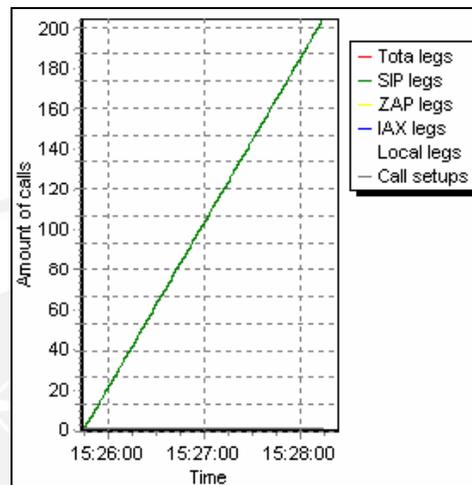


FIGURA 3.3 RESULTADOS ASTERTEST – CANTIDAD DE LLAMADAS

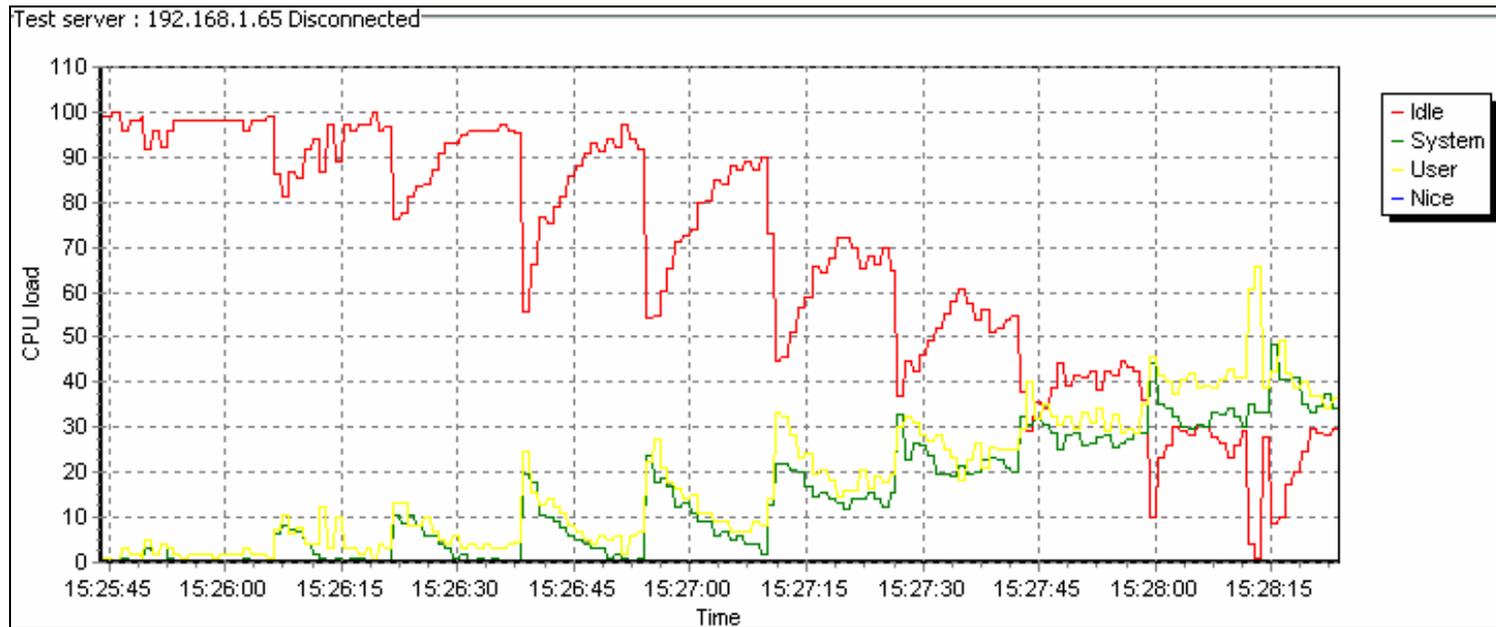


FIGURA 3.4 RESULTADOS ASTERTEST - CARGA DE CPU

3.2.3 Ubicación de la Central

Futura S.A. cuenta con una sala especial donde se encuentran todos sus servidores, central telefónica, routers y otros equipos de su red de datos y de voz. Esta sala se encuentra en el segundo piso del edificio, y cuenta con todas las medidas necesarias respecto a temperatura, aire acondicionado y sistemas de energía.

La central Asterisk reemplazará a la central telefónica que viene funcionando, y es fácil de acoplar pues no se trata más que de un servidor que se va a añadir al sistema.

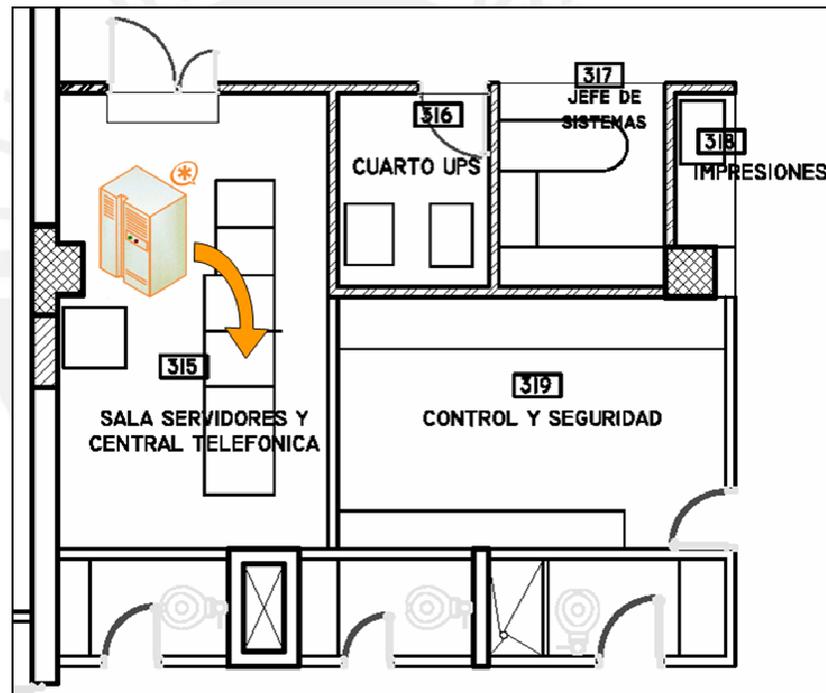


FIGURA 3.5 UBICACIÓN DE LA CENTRAL

3.2.4 Plan de Numeración

Los anexos telefónicos de FUTURA S.A. son 96, por lo que se considerarán extensiones de tres dígitos para su respectiva numeración. El acceso a los diferentes servicios también tendrá su propio plan de numeración como se muestra en la tabla 3.4.

TABLA 3.4. PLAN DE NUMERACIÓN

Descripción	Extensión
Anexos	101 – 196
Prefijo para la toma de troncal	9
Pruebas de Eco	*43
Activar / Desactivar Desvío de Llamadas <i>No Answer</i>	*52 / *53
Activar / Desactivar Llamada en Espera	*70 / *71
Activar / Desactivar Desvío de Llamadas Incondicional	*72 / *73
Activar / Desactivar Desvío de Llamadas <i>Busy</i>	*91 / *92
Correo de Voz	*97
Correo de Voz (Acceso Remoto)	*98
Servicio de directorio	#

La configuración de los anexos SIP se realiza en el archivo `/etc/asterisk/sip.conf`, mientras que la configuración de los servicios y el plan de numeración se detallan en el archivo `/etc/asterisk/extensions.conf`. Ambos se encuentran adjuntos como anexos.

3.3 Red de Acceso a la PSTN

3.4.1 Dimensionamiento de las Líneas Troncales

Según las estadísticas brindadas por la sección encargada de la operación y mantenimiento del sistema telefónico de Futura SA, se tienen datos acerca del tráfico que maneja, la cantidad de llamadas y duración media de las mismas. Estos parámetros se listan en la tabla 3.5, y servirán como punto de partida para realizar el análisis de tráfico y determinar el número de líneas troncales hacia la PSTN necesarias.

TABLA 3.5. ESTADÍSTICAS DEL SISTEMA DE TELEFONÍA

Número de Usuarios	96
Cantidad de Minutos Totales por Mes	68000
Duración Media de Llamada (segundos)	145
Número Promedio de Llamadas Simultáneas	26
Tráfico durante la Hora Punta (%)	20
Tráfico Entrante Promedio (%)	13
Tráfico Saliente Promedio (%)	28

Con estos datos se puede calcular:

Cantidad de minutos por usuario por mes = $68000/96 = 708.34$
min/mes

Asumiendo 21 días laborables al mes y dado que el 20 % del tráfico total se cursa en la hora punta, se puede calcular el uso por usuario durante la hora punta:

Minutos por usuario = $708.34 \text{ min/mes} / 21 \text{ días} * 20 \%$

Minutos por usuario = 6.75 min

Dado que 1 Erlang equivale a 60 minutos de uso, se pueden obtener los valores de tráfico durante la hora punta:

Tráfico por usuario en la hora punta = $6.75 / 60 = 0.1125 \text{ Erl}$

Tráfico total en la hora punta = $0.1125 \text{ Erl} * 96 = 10.8 \text{ Erl}$

Aplicando los porcentajes de tráfico externo (entrante y saliente a la PSTN) sobre los resultados anteriores, se obtiene:

Tráfico total entrante = $10.8 \text{ Erl} * 13 \% = 1.404 \text{ Erl}$

Tráfico total saliente = $10.8 \text{ Erl} * 28 \% = 3.024 \text{ Erl}$

Tráfico total externo (entrante + saliente) = 4.428 Erl

Utilizando el modelo de Erlang B para este sistema, y definiendo una probabilidad de bloqueo de 1 % se tienen los resultados de la tabla 3.6.

TABLA 3.6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TRÁFICO EXTERNO

Tráfico total	4.428 Erl
Probabilidad de bloqueo	1 %
Líneas Troncales Necesarias	10

Se puede concluir que las diez líneas de las cuales disponía el sistema anterior son suficientes para soportar los requerimientos de tráfico hacia y desde la PSTN. El sistema está sobredimensionado y no hay ninguna necesidad de realizar cambios respecto al enlace E1 contratado que viene funcionando.

3.4.2 Líneas Troncales E1/PRI

Como se mencionó anteriormente, el sistema de telefonía tradicional con el que contaba Futura S.A. tenía acceso a la PSTN mediante diez canales de un enlace E1 contratado al operador local. Con la arquitectura de red propuesta se establece la central *Asterisk* como *gateway* hacia la PSTN.

La interfaz a usar para la interconexión del sistema VoIP local y la PSTN será la tarjeta “*Digium*” TE110P, la cual es una tarjeta PCI configurable con una interfaz E1/PRI ó T1/PRI [1].

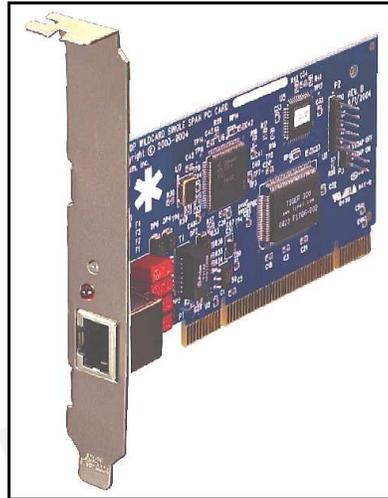


FIGURA 3.6 TARJETA DIGIUM TE110P

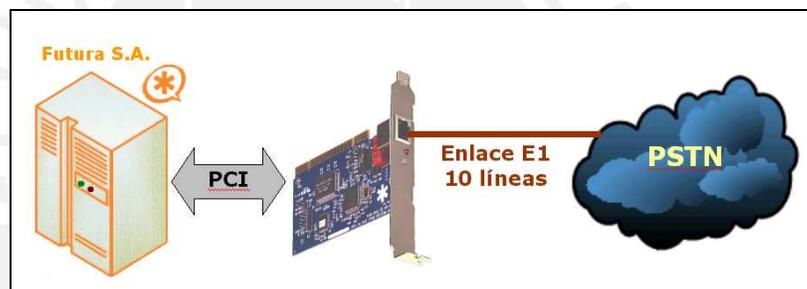


FIGURA 3.7 ACCESO A LA PSTN VIA ENLACE E1/PRI

Para poder configurar la tarjeta se deben tener instalados los paquetes *ZAPTEL* y *LIBPRI*, los que proveerán la interfaz lógica con el sistema de telefonía tradicional. La configuración se realiza mediante dos archivos de configuración: `/etc/zaptel.conf` y `/etc/asterisk/zapata.conf`, los cuales se adjuntan como anexos debidamente documentados basados en la información del enlace E1 del cual se dispone.

TABLA 3.7. PARÁMETROS DEL ENLACE E1/PRI

Canales de Transmisión “B”	22-31
Canal de Señalización “D”	16
Tipo de Conmutador	Euro ISDN
Señalización	CPE

Las diez líneas son configuradas dentro de un único grupo de troncales para ser tomadas indistintamente por los usuarios según su disponibilidad. Este grupo es usado como primera opción para el establecimiento de llamadas Locales y de Larga Distancia Nacional, mientras que es usado como segunda alternativa para las llamadas de Larga Distancia Internacional, como se define en el archivo de configuración: `/etc/asterisk/extensions.conf`.

3.4.3 Líneas Troncales VoIP

Una de las principales ventajas de las PBX IP, es el hecho de poder establecer circuitos virtuales con otras PBX o terminales IP a través de cualquier red de este tipo, ya sea una red privada o la misma Internet. En la actualidad existen diversos proveedores que ofrecen acceso a la PSTN utilizando una red de acceso VoIP a través de Internet para sus clientes.

Estos proveedores otorgan cuentas SIP para el acceso, dado que es el estándar más comercializado en el ámbito de VoIP. Una de estas cuentas se usará como línea troncal en el presente diseño para cursar el tráfico saliente LDI (Larga Distancia Internacional), dado que representa un ahorro significativo en los costos de operación.

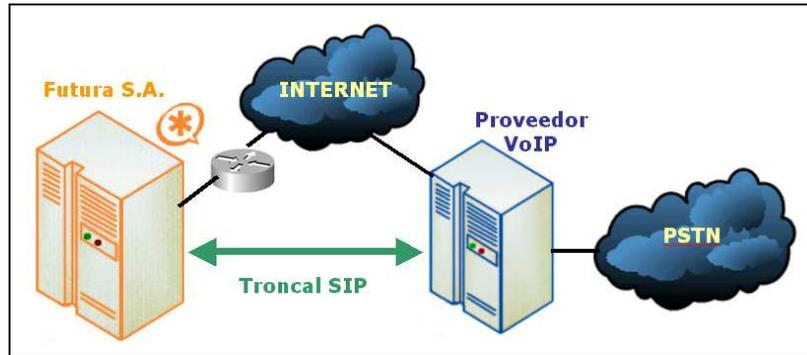


FIGURA 3.8 ACCESO A LA PSTN VIA TRONCAL SIP

La línea troncal es configurada en el archivo `/etc/asterisk/sip.conf`, los parámetros necesarios para la configuración son:

TABLA 3.8. PARÁMETROS DE LA LÍNEA TRONCAL SIP

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

Los dos primeros parámetros son necesarios para la autenticación de la cuenta, mientras que el tipo *“peer”* indica que la cuenta solo podrá ser utilizada para realizar llamadas y no para recibirlas. El parámetro *“host”* hace ubicable al proveedor para el registro de la cuenta y los dos últimos parámetros son necesarios para que el proveedor reconozca la cuenta como confiable.

Esta línea troncal es usada como primera opción para el establecimiento de llamadas LDI, y a la vez se usa como troncal

de respaldo para cursar el tráfico local y LDN en caso falle el enlace E1 del cual se dispone. La configuración se encuentra definida y debidamente documentada en el archivo de configuración: `/etc/asterisk/extensions.conf`.

3.4 Planta Externa

3.3.1 Consideraciones Previas

En FUTURA existen 96 usuarios que requieren acceso al sistema de telefonía, distribuidos de la siguiente forma:

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

Dada la naturaleza de la labor que desempeña cada individuo de la empresa, no todos sacarían el mismo provecho del uso de terminales inalámbricos para acceder a los servicios de telefonía de la empresa, e inclusive podría resultar totalmente inadecuado en algunos casos. Por ejemplo en el caso de agentes de *call center*, los cuales pasan el 99.99% de su tiempo de trabajo sentados frente a un computador recibiendo o haciendo llamadas, con las manos ocupadas tecleando constantemente en búsqueda de información y usando un *headset* en lugar de los auriculares convencionales, la solución más adecuada sería el uso de *softphones*, los cuales podrían manejar conjuntamente con el computador de una manera más eficiente. Entonces la elección del tipo de terminal: teléfono Wi-Fi, teléfono IP fijo, o *softphone*, dependerá de diversos factores incluyendo la preferencia y comodidad de los usuarios.

En el caso de FUTURA el 61.45 % de los usuarios requieren el uso de terminales Wi-Fi, mientras que el otro 38.55 % usará teléfonos alámbricos IP. Sin embargo el diseño de la capacidad de la red de acceso inalámbrica se dimensionará para los 96 usuarios para darle flexibilidad de elección de terminales al sistema de telefonía IP.

El estándar Wi-Fi a usar será el 802.11g, dado que en la actualidad no existen teléfonos que soporten el 802.11a, el cual resulta el más apropiado para el desarrollo de aplicaciones de tiempo real que requieren de altas prestaciones respecto a capacidad de red, como es el caso de la Telefonía IP [8].

3.3.2 Arquitectura de la Red de Acceso

En la figura 3.9 se muestra el esquema de la red de acceso propuesta:

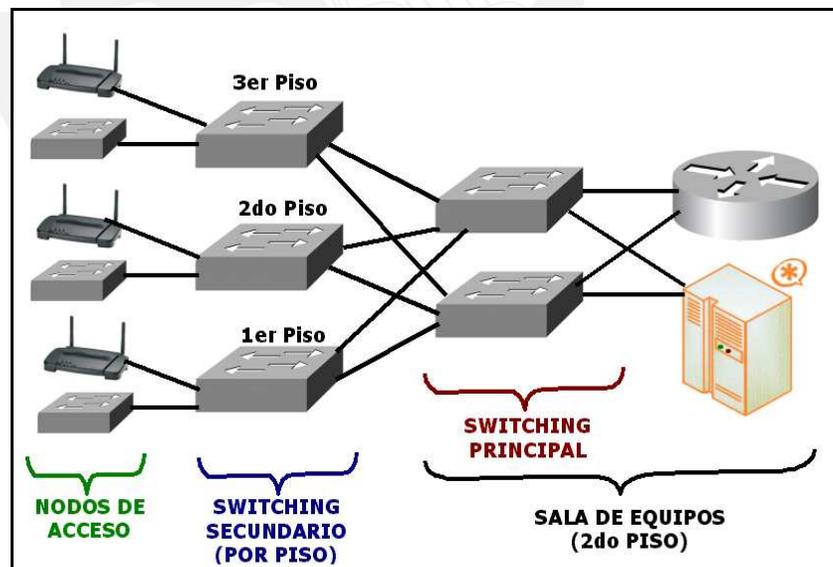


FIGURA 3.9 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO

La red de acceso consta de 3 niveles de conmutación:

Nivel 1, constituido por dos *switchs* SWR208P de la marca LINKSYS que realizan la conmutación principal del sistema. Estos *switchs* dan el acceso a las redes externas: a Internet conectándose a través del *router*, y a la central Asterisk y la PSTN.

Nivel 2, constituido por tres *switchs* SWR208P (uno por cada piso) de la marca LINKSYS que realizan la conmutación secundaria del sistema. A estos *switchs* se conectan los nodos que le darán el acceso final a los usuarios, y además se encuentran conectados mediante enlaces redundantes al nivel de conmutación principal.

Nivel 3, constituido por los puntos de acceso (sobre los cuales se detallará más adelante) y los *switchs* SWR2024P de la marca LINKSYS que realizan la conmutación secundaria del sistema. Estos nodos se encargan de darle el acceso a los diversos terminales de la red (Teléfonos Wi-Fi, teléfonos alámbricos, PCs, portátiles, etc).

El sistema de cableado de la red de datos de FUTURA S.A. cumple con las normas de cableado estructurado, por lo que solamente se hará necesario el reemplazo de los *switchs* de la red por nuevos *switchs* que soporten calidad de servicio (QoS) y se pueda así satisfacer las necesidades del sistema de telefonía IP en convivencia con las aplicaciones de datos.

Con el fin de optimizar el desempeño del sistema [6], se deberán establecer diferentes VLANs para los diversos tipos de tráfico que se podrán encontrar en la red:

- Datos
- Voz (Terminales Alámbricos)

- Voz (Terminales Inalámbricos)

3.3.3 Cobertura de la Red Inalámbrica

Los puntos de acceso a usar son los AP-700 de la marca ORINOCO, mientras que los teléfonos inalámbricos Wi-Fi son los WIP330 de la marca LINKSYS. Las características relevantes de estos equipos para el cálculo de cobertura son:

TABLA 3.9. PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE LOS EQUIPOS WI-FI

Equipo	Potencia de Transmisión (dBm)	Sensibilidad de Recepción a 36 Mbps (dBm)	Sensibilidad de Recepción a 54 Mbps (dBm)
<i>Punto de Acceso</i>	<i>Hasta 18 (configurable)</i>	-82	-76
<i>Teléfono Wi-Fi</i>	14	-86	-78

Teniendo en cuenta la fórmula de la figura 1.11 respecto al modelo para el cálculo de pérdidas de propagación en entornos de oficina [3] y aplicándola a las condiciones del presente diseño de cobertura se tiene:

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

Donde $f = 2.4 \text{ GHz}$, L es la pérdida de propagación que dependerá de la velocidad de transmisión a la cual trabajará el sistema (dada la sensibilidad RF de los equipos para cada una), d y n son valores variables que se calcularán en función a las otras variables. Simplificando la fórmula se tiene:

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

Considerando un número promedio de obstáculos entre el punto de acceso y el teléfono Wi-Fi de:

$n = 2$ (hasta 15 metros)

$n = 3$ (hasta 20 metros)

$n = 4$ (hasta 25 metros)

Y utilizando además los parámetros de transmisión y recepción de la tabla 3.8 se obtiene el siguiente comportamiento respecto a la cobertura de la red en las figuras 3.9 y 3.10:

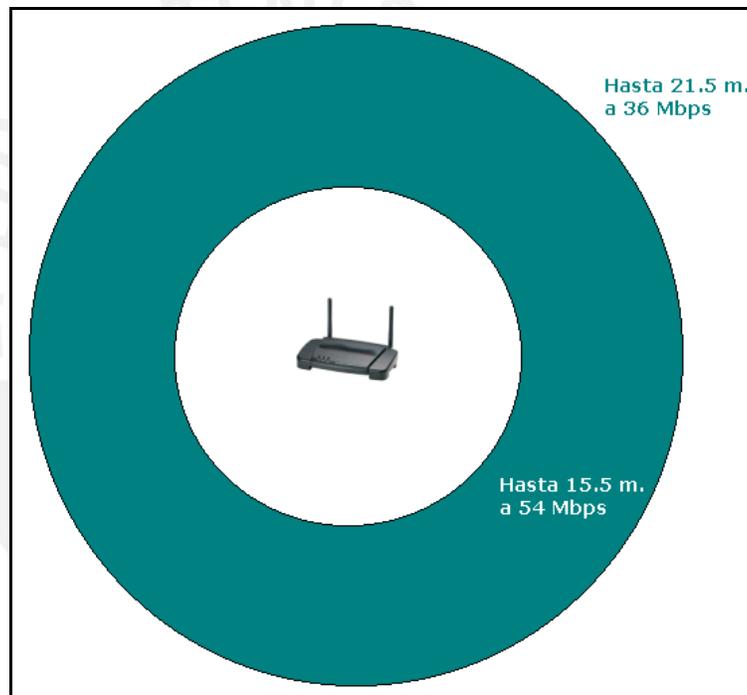


FIGURA 3.10 RANGO DE COBERTURA – PUNTO DE ACCESO

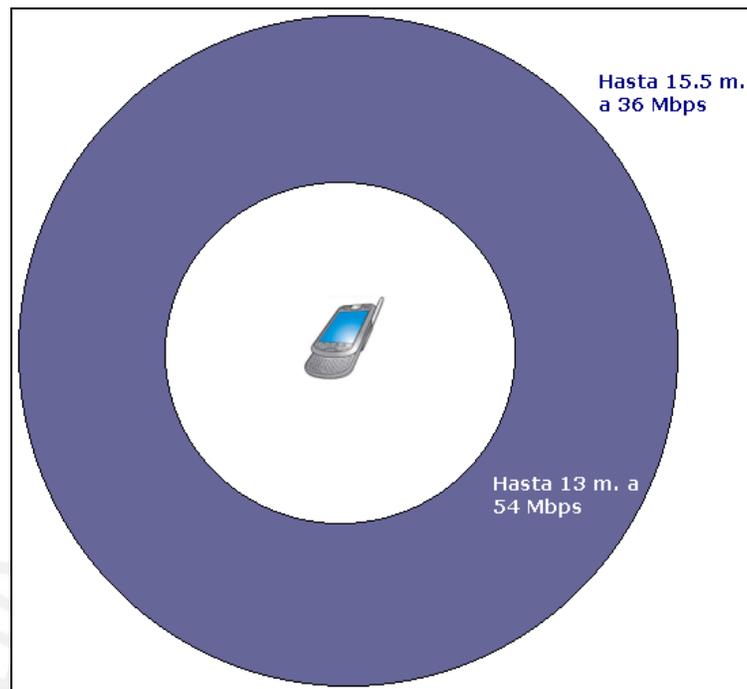


FIGURA 3.11 RANGO DE COBERTURA - TELÉFONO WI-FI

Como se puede apreciar, los teléfonos Wi-Fi ofrecen menor rango de cobertura dadas sus características de transmisión y sensibilidad RF, por lo que el diseño de cobertura se realizará en base a este rango. Respecto al access point, su potencia de transmisión es configurable y se puede regular para alcanzar niveles de cobertura apropiados para este caso.

La velocidad de transmisión a utilizarse en el sistema de acceso inalámbrico es de 36 Mbps, dado que ofrece un equilibrio respecto a rango de cobertura y capacidad, adaptándose óptimamente a las características de infraestructura de FUTURA.

El número de puntos de acceso necesarios para cada piso es:

Primer piso : 2 puntos de acceso

Segundo piso : 2 puntos de acceso

Tercer piso : 1 punto de acceso

En las figuras 3.11, 3.12 y 3.13 se muestra el diseño de cobertura para cada piso, los colores de las líneas representan un canal de frecuencia distinto por cada punto de acceso, como se detallará en la siguiente sección acerca de la capacidad de la red.



FIGURA 3.12 PLANO DE COBERTURA – PRIMERA PLANTA

Todos las celdas deben ser configuradas dentro del mismo SSID para que los usuarios puedan acceder a las mismas prestaciones de servicios desde punto del edificio [12].

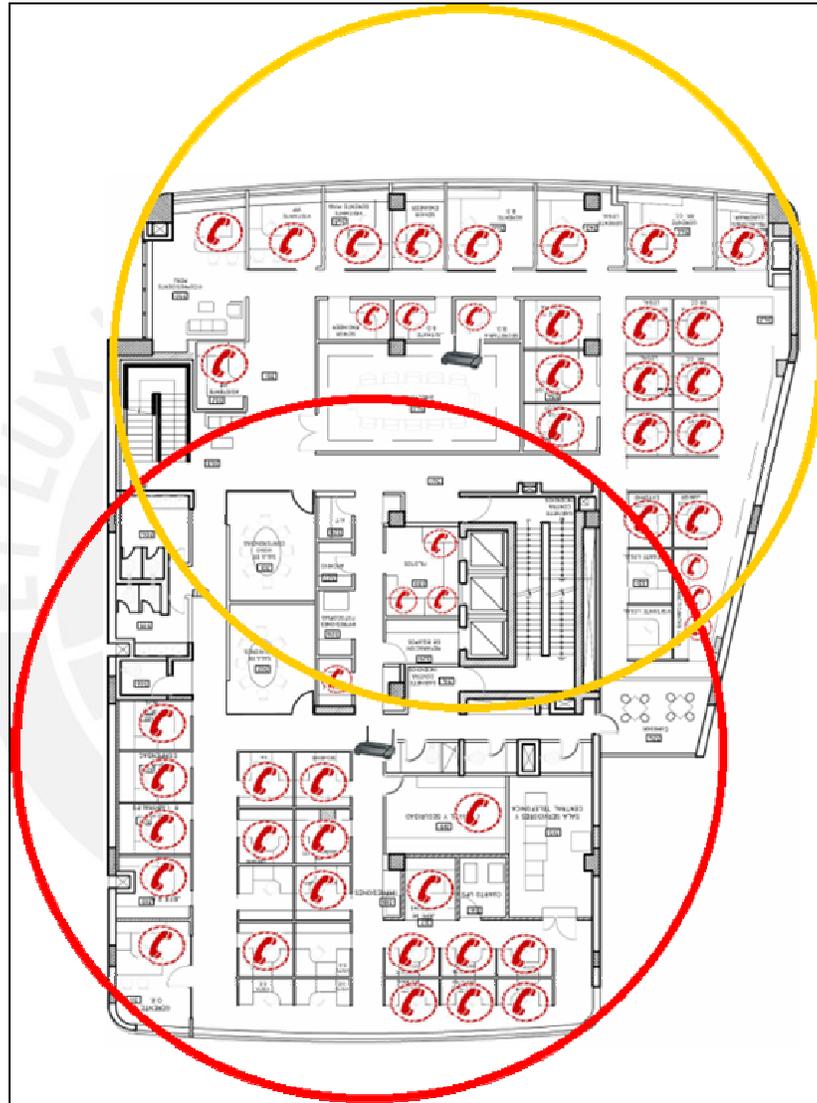


FIGURA 3.13 PLANO DE COBERTURA – SEGUNDA PLANTA

Cabe resaltar que en su mayoría las paredes de las diferentes están hechas del material *drywall*, e incluso la mayoría de obstáculos separadores son solo de media altura, por lo que no se esperan mayores problemas de cobertura a nivel de pisos.

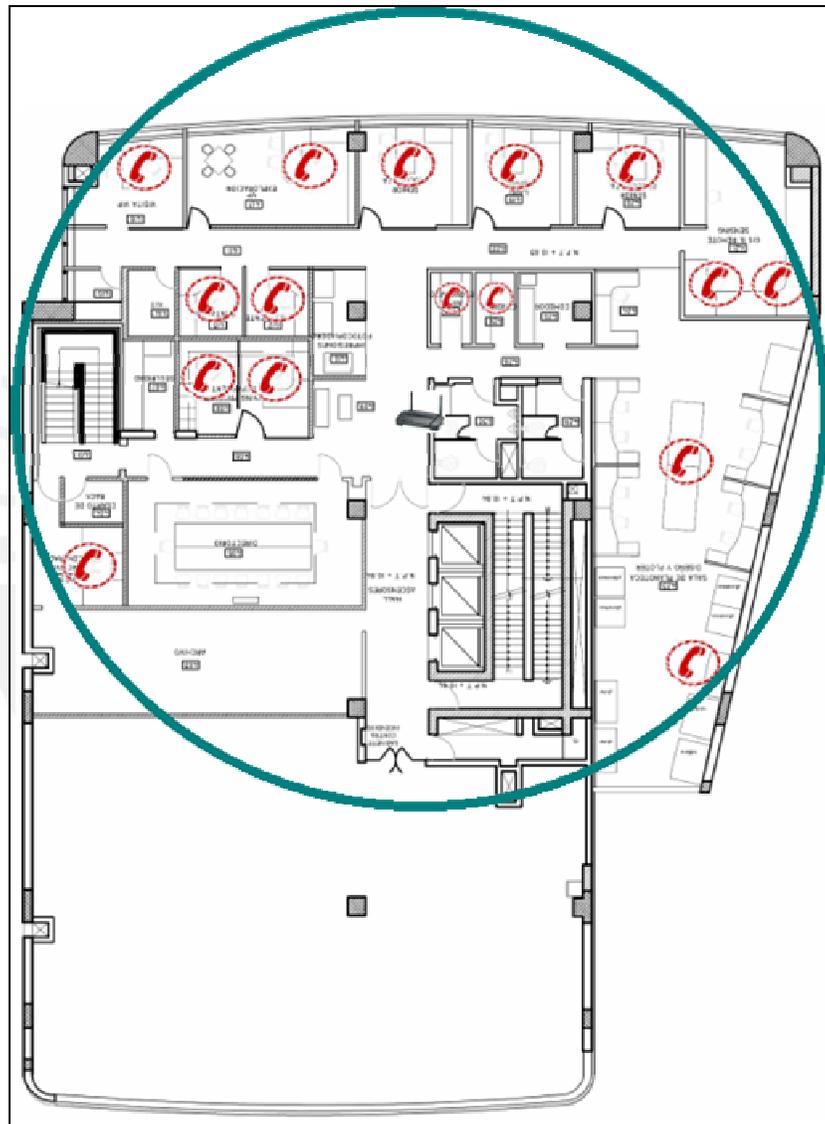


FIGURA 3.14 PLANO DE COBERTURA – TERCERA PLANTA

Las antenas de los puntos de acceso tienen un patrón de cobertura omnidireccional, con un ancho de haz vertical de 30° , por lo que no se

espera mayor interferencia entre las celdas del primer y el segundo piso que comparten el mismo canal de frecuencia, considerando además que los suelos y techos de los pisos si presentan mayores pérdidas y atenuación dada la naturaleza de su estructura, distinta a la que se encuentra en las paredes de cada planta.

3.3.4 Capacidad de la Red Inalámbrica

Utilizando el estándar 802.11g solo se puede hacer uso de hasta 3 canales RF sin traslape alguno, estos son los canales 1, 6 y 11. Cada punto de acceso operará en un canal distinto, haciendo el reuso de frecuencias óptimo para evitar la interferencia cocanal.

TABLA 3.10. PLAN DE FRECUENCIAS PARA LA RED DE ACCESO INALÁMBRICA

Ubicación	No Canal	Frecuencia	Leyenda
<i>Piso 1 zona sur</i>	1	2.412 GHz	
<i>Piso 1 zona norte</i>	6	2.437 GHz	
<i>Piso 2 zona sur</i>	11	2.462 GHz	
<i>Piso 2 zona norte</i>	1	2.412 GHz	
<i>Piso 3</i>	6	2.437 GHz	

En la sección 3.4.1 se calculó el tráfico promedio por usuario en base a las estadísticas del sistema de telefonía de FUTURA:

Tráfico por usuario en la hora punta = 0.1125 Erl

Según la distribución propuesta existe un determinado grupo promedio de usuarios por punto de acceso, los cuales competirán en un momento dado para acceder a un canal compartido de 36 Mbps.

Trabajando con el codec G.711 ulaw se utilizan 64 kbps por cada canal de voz. Sin embargo se debe tomar en cuenta el *overhead* de las cabeceras RTP, UDP, IP e incluso la de la capa MAC:

Wi-Fi : 30 bytes

IP : 20 bytes

UDP : 8 bytes

RTP : 12 bytes

Lo que resulta en una cabecera total de 70 bytes por paquete RTP.

TABLA 3.11. PARÁMETROS DE LA CODIFICACIÓN G711

Tamaño de trama (bytes)	Tiempo de trama (ms)	Tramas por paquete	Paquetes por segundo	Tasa (bps)
240	30	1	33.33	64000

Fuente: Recomendación G.711 ITU-T.

Considerando los parámetros de la tabla 3.11 respecto a la codificación G711 [19] y añadiendo los 70 bytes de cabecera a la carga útil de 240 bytes se tiene un tamaño de paquete de 310 bytes. Entonces la capacidad de transmisión necesaria por canal es:

$$\text{Capacidad necesaria por canal} = 310 * 8 * 33.33 = 82.7 \text{ kbps}$$

TABLA 3.12. MEDIDAS DE CAPACIDAD DE RED

Piso	Usuarios por celda	Tráfico por celda (Erl)	Ancho de banda necesario (kbps)
1	15.5	1.74	143.9
2	24.5	2.76	228.3
3	16	1.8	148.9

En este caso se tiene la mayor densidad de usuarios en el segundo piso con 24.5 usuarios por punto de acceso, lo que traducido a medidas de tráfico representa 2.76 Erl y requiere de un mínimo de 228.3 kbps de ancho de banda disponible en cualquier momento.

Entonces se puede concluir que el ancho de banda nominal de 36 Mbps que se ofrece en cada celda, es más que suficiente para soportar las necesidades de capacidad de voz para la red de acceso inalámbrica de FUTURA. Se dispone de suficiente ancho de banda para ofrecer servicios de datos por la misma red de acceso inalámbrica, siempre y cuando se establezcan las políticas adecuadas respecto a Calidad de Servicio (QoS) que permitan priorizar el tráfico de voz.

También se debe considerar que la tasa de transmisión de 36 Mbps es netamente nominal, dado que las posibles colisiones, la competencia por el acceso al medio compartido, el efecto multicamino [2] y el uso de algunas técnicas de optimización como RTS – CTS [12] (para solucionar el problema del “nodo oculto”), pueden disminuir el *trough-put* drásticamente hasta en un 30% según algunos estudios y reportes [8]. Dada esta situación, es necesario realizar un estudio más exhaustivo de presentarse mayores requerimientos de capacidad, pudiéndose establecer una

red de 54 Mbps y añadir puntos de acceso para cubrir eficientemente las necesidades de comunicación.

Finalmente, cabe resaltar que de realizarse la implementación de un sistema de este tipo siempre se deben realizar pruebas de campo en el lugar de la instalación. Así se pueden obtener las medidas exactas respecto a potencias de transmisión, pérdidas y se puede observar el comportamiento real de la propagación en dichos ambientes.

3.5 Servicios del Sistema

La configuración de los servicios ofrecidos por el nuevo sistema de telefonía IP, se define y se encuentra documentada en el archivo de configuración `/etc/asterisk/extensions.conf`.

Los servicios implementados en el sistema son los siguientes:

- Parqueo de llamadas (*Call park*)
- Transferencia de llamadas (*Call transfer*)
- Conferencia Ad-hoc y salas de conferencia.
- Marcado rápido
- Llamada de vuelta (*Call back*)
- Recogida de llamadas (*Call pickup*)
- Desvío de llamadas (*Call forwarding*)
- Llamada en espera (*Call waiting*)
- Música en espera (*Music on hold*)

- Grabación detallada de llamadas (*CDR*)
- Historial de llamadas (*Call History*)
- Operadora automática (*Automated Attendant IVR*)
- Consola de configuración (GUI basada en web)
- Múltiples líneas por teléfono
- Distribución automática de llamadas (ACD)
- Movilidad
- Soporte para *softphones* (teléfonos virtuales) y anexos remotos

El sistema de correo de voz es un módulo integrado con la central Asterisk y no es un sistema externo como en la telefonía tradicional, y su funcionalidad y características son definidas utilizando los archivos: `/etc/asterisk/voicemail.conf` y `/etc/asterisk/extensions.conf`.

Las principales características de este sistema son:

- Notificación de mensajes en espera
- Marcación directa de buzón
- Acceso remoto a buzón
- Envío de mensajes adjuntos por correo electrónico

Capítulo 4

Costos de Inversión y Operación

4.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión involucran básicamente dos aspectos:

- Costos de hardware y equipos
- Costos de instalación

Respecto a hardware y equipos necesarios para la implementación de la red se muestran en la tabla 4.1.

TABLA 4.1. COSTOS DE HARDWARE Y EQUIPOS

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Punto de Acceso AP-700 ORINOCO	5	\$ 348,00	\$ 1.740,00
Switch LINKSYS SWR2024P/8P	5	\$ 700,00	\$ 3.500,00
Central Asterisk	1	\$ 595,00	\$ 595,00
Tarjeta Digium TE110P	1	\$ 830,00	\$ 830,00
Teléfono Wi-Fi LINKSYS WIP330	59	\$ 290,00	\$ 17.110,00
Teléfono IP alámbrico GRANDSTREAM GXP- 2000	37	\$ 115,00	\$ 4.255,00
		Total	\$ 28.030,00

Los costos de instalación y configuración del sistema se muestran en la tabla 4.2.

TABLA 4.2. COSTOS DE INSTALACIÓN

Descripción	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Instalación y Configuración de los Puntos de Acceso	5	\$ 190,00	\$ 950,00
Instalación y Configuración de los Switchs	5	\$ 90,00	\$ 450,00
Instalación y Configuración de la Central	1	\$ 490,00	\$ 490,00
Instalación y Configuración de Teléfonos	96	\$ 10,00	\$ 960,00
Cableado y Costos de Infraestructura	-	-	\$ 1.900,00
		Total	\$ 4.750,00

Los gastos de inversión suman un total de \$ 32 780. La mayor parte de estos costos son causados por los terminales inalámbricos (58 % aproximadamente).

Se debe tener en cuenta que Futura SA cuenta ya con un sistema de energía, refrigeración y otros sistemas complementarios al sistema a implementar, por lo que ya no se consideran estos aspectos que si deberían estar incluidos en la estimación de costos si se tratase de la instalación de un sistema de telefonía y de datos completo y sin precedentes.

4.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los costos de operación de FUTURA S.A. respecto a energía eléctrica y sistemas complementarios al sistema de comunicaciones, aumentarán debido a que se utilizarán más equipos en la red: puntos de acceso, conmutadores, etc. Por otra parte los costos de las llamadas de larga

distancia LDI tendrán una reducción considerable dada la utilización de líneas troncales VoIP y su forma de funcionamiento que se detalló en la sección 3.4.3.

Respecto al mantenimiento, se debe considerar los gastos que ocasionarán:

Mantenimiento Proactivo, como medidas de prevención de posibles fallas o desperfectos en la red. Entre estas actividades se encuentran las actualizaciones de software y hardware del sistema.

Mantenimiento Reactivo, como medidas de corrección y solución de fallas y/o pérdidas inminentes. Los costos de las actividades relacionadas a este tipo de mantenimiento no son predecibles.

TABLA 4.3. COSTOS DE MANTENIMIENTO

Actividad	Frecuencia	Costo	Costo Anual
Actualizaciones de Software y Hardware	trimestral	\$ 190,00	\$ 760,00
Procesos de respaldo y restauración	mensual	\$ 100,00	\$ 1.200,00
Servicios de soporte y cambios de configuración del sistema	-	-	-

Conclusiones y Recomendaciones

Se logró diseñar e implementar exitosamente una PBX utilizando Asterisk y herramientas de código abierto, aplicando las consideraciones necesarias para el desarrollo de sistemas de telefonía IP e identificando las ventajas y la flexibilidad de los sistemas *open source* respecto a otros de tecnología propietaria.

Wi-Fi y su integración con las aplicaciones emergentes de VoIP para dotar a los usuarios de la movilidad que ofrecen las tecnologías inalámbricas, se constituye como un tema de gran interés hoy en día. Con el diseño realizado se logró identificar los puntos clave a considerar en cuanto al planeamiento de aplicaciones de WPBX usando la Telefonía IP de fin a fin, donde Wi-Fi se presenta como la tecnología más apropiada en miras al futuro y la convergencia de servicios. Sin embargo, esta tecnología se encuentra aún inmadura, pudiéndose apreciar sus debilidades y los esfuerzos actuales por cubrirlas.

Al contar con una red de acceso inalámbrica se atenderán los requerimientos de la demanda móvil de los usuarios de la empresa, facilitando sus operaciones, potenciando su desempeño y aumentando su disponibilidad de manera significativa.

La implementación de un nuevo sistema de telefonía basada en IP ocasionará una drástica reducción en los costos de operación y mantenimiento de las redes de FUTURA S.A., así como también se optimizarán los servicios que la Telefonía IP y el uso de tecnología no propietaria pueden ofrecer.

Finalmente, respecto a la seguridad y confiabilidad de la red, se debe resaltar la necesidad de garantizar una alta disponibilidad centralizada del sistema y no distribuida. Esto debido principalmente a que la principal red de acceso a la PSTN requiere de una conexión física con la central de conmutación por medio de su interfaz PCI, situación que dificulta tanto técnica como económicamente el despliegue de un sistema de centrales de respaldo distribuidas, pues se estaría en presencia de una red híbrida IP-TDM, dada la necesidad de interoperabilidad del sistema de Telefonía IP con los sistemas de telefonía tradicional y la PSTN.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lawrence Harte, Robert Flood. *“Introduction to Private Telephone Systems” 2nd Edition*. Althos, 2005.
2. Sendín Escalona, Alberto. *“Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles”*. McGraw-Hill, 2004.
3. UIT-R Recomendación P.1238. *“Datos de Propagación y Métodos de Predicción para el Planeamiento de Sistemas de Radiocomunicación en Interiores y Redes de Área Local en el Rango de Frecuencia de 900 MHz a 100 GHz”*, 2005.
4. Phillip, John A. *“Personal Communication with DECT and PWT”*. Artech House Mobile Communication Library, 1998.
5. Madsen, Lef. *“Asterisk: The Future Of Telephony”*. O’Reilly, 2005.
6. Gomillion, David. *“Building Telephony Systems with Asterisk”*. PACKT, 2006.
7. Goncalvez, Flavio E. *“Asterisk: Guía de Configuración”*. V. Office Networks LTDA, 2006.
8. Proxim Wireless Networks. *“Voice over Wi-Fi Capacity Planning”*. 2004
9. IEEE 802.11 *“Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications”*. 1999.
10. IEEE 802.11a *“High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band”*, 1999.
11. IEEE 802.11b *“Higher Speed Extension in the 2.4 GHz Band”*, 1999.
12. IEEE 802.11g *“Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band”*, 2003.
13. RFC 3261 *“SIP: Session Initiation Protocol”*. IETF, 2002.

- 14.RFC 2327 “*SDP: Session Description Protocol*”. IETF, 1998.
- 15.RFC 3550 “*RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*”. IETF, 2003.
- 16.RFC 3605 “*RTCP: Real Time Control Protocol*”. IETF, 2003.
- 17.IETF Internet Draft “*LAX: Inter-Asterisk eXchange Version 2*”. IETF, 2006.
- 18.UIT-T Recomendación H.323 v4 “*Sistemas de Comunicaciones Multimedia Basados en Paquetes*”, 2000.
- 19.UIT-T Recomendación G.711 “*Modulación por Impulsos Codificados (MIC) de Frecuencias Vocales*”, 1988.
- 20.Spencer, Mark. “*Asterisk Handbook*” *Version 2*. Digium, Inc. 2005.

