

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA
LA IMPLANTACIÓN DE TELEFONÍA IP EN LAS
SUBESTACIONES DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A.**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Escalona C., Javier A.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2007

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLANTACIÓN DE TELEFONÍA IP EN LAS SUBESTACIONES DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A.

Prof. Guía: Ing. Dan El Montoya

Tutor Industrial: Ing. Richard Piralla

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Escalona C., Javier A.
Para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2007



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 23 de mayo de 2007

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Javier A. Escalona C., titulado:

***“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
IMPLANTACIÓN DE TELEFONÍA IP EN LAS SUBESTACIONES DE LA
ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A”***

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Comunicaciones, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof. Luis Fernández
Jurado

Prof. María E. Álvarez
Jurado

Prof. Dan El Montoya
Prof. Guía

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico a mis padres Esteban y Enela, ya que ellos han estado a mi lado de manera incondicional, brindándome su apoyo y comprensión a lo largo de mi carrera.

Papá y mamá, finalmente llegó este momento, el final de una etapa, se les gradúa su hijo. Gracias por estar siempre a mi lado, por sus consejos, por sus enseñanzas, y sobre todo por su paciencia. Este sueño no es solo mío, también es de ustedes y por eso se los dedico.

Los Amo...

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

En primer lugar le agradezco a Dios y a mis padres, ya que gracias a ellos estoy aquí sentado escribiendo estas líneas.

Al Ing. Richard Piralla por su colaboración y por brindarme la oportunidad de realizar la pasantía en tan prestigiosa empresa. A todo el grupo Transmisión de Voz y Datos por su colaboración en la realización de este estudio, especialmente a Jonathan Sarmiento, Nerio Mila y Carlos Goncalves, muchas gracias por su apoyo.

A Dan El Montoya, un excelente profesor de la escuela, quien no solo fue mi profesor en tres materias distintas, sino que además tuve el honor de contar con su apoyo como Profesor Guía, muchas gracias.

A la Ing. Sabrina Vargas, quien me ayudó enormemente a estructurar este estudio.

Ahora bien, como este Trabajo Especial de Grado representa el final de una etapa de mi vida, considero necesario agradecerles a todos mis compañeros que estuvieron a mi lado a lo largo de la carrera porque de alguna manera colaboraron en mi crecimiento como persona. Eric, José Luís, Jesús, Benancio, Joe, Verde, Jonathan y Julián, gracias por compartir conmigo estos últimos años, espero que el trabajo y las responsabilidades no nos distancien.

Por último y no por eso menos importante, quiero agradecerle a mi bella Carol. Gracias por estar a mi lado en todo momento apoyándome y dándome ánimos para culminar este estudio. Te Amo...

Escalona C., Javier A.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
IMPLANTACIÓN DE TELEFONÍA IP EN LAS SUBESTACIONES
DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A.**

Profesor Guía: Dan El Montoya. Tutor Industrial: Ing. Richard Piralla. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: La Electricidad de Caracas C.A. Trabajo de Grado. 2007. 137h.

Palabras Claves: Telefonía IP; CallManager; Interoperabilidad; Tráfico Telefónico.

Resumen. El presente trabajo de grado consiste en el estudio de factibilidad técnica y económica de la solución de telefonía IP para 122 subestaciones, las cuales se encuentran servidas actualmente mediante la red de cables exteriores de la empresa y una central telefónica TDM perteneciente al grupo Despacho de Carga de La Electricidad de Caracas C.A. La intención de la empresa es proporcionar el servicio telefónico a las subestaciones mediante la red de fibra óptica implantada por el proyecto LAN de Subestaciones. Para la realización de este estudio, primero se da a conocer el funcionamiento básico de la tecnología VoIP, así como también información complementaria para el entendimiento de las redes de datos que la soportan. Luego se procede a la descripción de la red de voz y datos actual, dando a conocer las funcionalidades, la estructura y el tráfico que soporta, para de esta manera ofrecer una solución que represente el menor impacto técnico para la empresa haciendo el mejor uso de la infraestructura existente. La factibilidad técnica de la solución se determinó mediante el análisis de parámetros críticos como ancho de banda, calidad de servicio e interoperabilidad de los sistemas. Adicionalmente se presentan los resultados de las pruebas realizadas a dispositivos conversores de teléfonos analógicos a IP. Finalmente se propone una solución y se describen las características de esta, dando a conocer la inversión para este proyecto y los beneficios económicos que esta genera.

INDICE GENERAL

	Pág.
Constancia de Aprobación	ii
Dedicatoria	ii
Reconocimientos y Agradecimientos.....	iv
Resumen.....	v
Índice Tablas	x
Índice Figuras.....	xi
Acrónimos	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	6
1.1 Redes de Conmutadas	6
1.1.1 Conmutación de Circuitos.....	6
1.1.2 Conmutación de Paquetes	7
1.2 Modelo OSI.....	8
1.2.1 Capa Física.....	9
1.2.2 Capa de Enlace de Datos.....	10
1.2.3 Capa de Red	10
1.2.4 Capa de Transporte	10
1.2.5 Capa de Sesión	11
1.2.6 Capa de Presentación	11
1.2.7 Capa de Aplicación	12
1.3 Modelo TCP/IP	13
1.3.1 Capa de Aplicación	14
1.3.2 Capa de Transporte	14
1.3.3 Capa de Internet	14
1.3.4 Capa de Acceso de Red.....	15
1.4 Redes de Área Local (LAN) y Redes de Área Amplia (WAN).....	15
1.4.1 Las Características más resaltantes de las LAN son:	15
1.4.2 Topología de las LAN.....	17
1.4.2.1 Topologías Físicas.....	17
1.4.2.1.1 Topología de Bus	18
1.4.2.1.2 Topología de Anillo	18
1.4.2.1.3 Topología en Estrella	19
1.4.2.1.4 Topología en Árbol	20

1.4.2.1.5 Topología de Malla	21
1.4.2.2 Topologías Lógicas	21
1.4.2.2.1 Topología Broadcast	22
1.4.2.2.2 Topología Token Ring	22
1.5 Protocolo de Internet	23
1.5.1 Operación	24
1.5.1.1 Tipo de Servicio	24
1.5.1.2 Tiempo de Vida.....	25
1.5.1.3 Opciones.....	25
1.5.1.4 Suma de Control de Cabecera.....	25
1.5.2 Descripción de Funciones	26
1.5.3 Dirección IP	26
1.5.4 Enrutamiento.....	28
1.5.5 Fragmentación.....	28
1.5.6 Ejemplo de Operación.....	29
1.6 Voz Sobre IP y Telefonía IP	30
1.6.1 H.323.....	31
1.6.1.1 Terminales.....	31
1.6.1.2 Gateways.....	32
1.6.1.3 Gatekeepers.....	33
1.6.1.4 Unidades de Control Multipunto (MCU).....	35
1.6.2 Protocolo de Iniciación de Sesiones.....	36

CAPÍTULO II

RED DE COMUNICACIONES DE

LA ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A.

2.1 Descripción de la Empresa.....	40
2.1.1 Historia.....	40
2.1.2 Misión	43
2.1.3 Visión	43
2.1.4 Valores	43
2.1.4 Tecnología.....	44
2.2 Red Telefónica	45
2.2.1 Red Telefónica de Subestaciones.....	52
2.2.1.1 Sistema de Comunicaciones MD110 Versión BC 9	52
2.2.1.2 Diseño de la Red Telefónica de Subestaciones.....	53
2.2.1.3 Tráfico Telefónico Actual de la Central de Despacho de Carga.....	54
2.3 Red de Datos para el Proyecto de Telefonía IP en las Subestaciones.....	58

CAPÍTULO III

SOLUCIONES DE TELEFONIA IP

3.1 Requerimiento de La Electricidad de Caracas C.A.....	60
3.2 Características que Garantizan la Factibilidad de la Solución IP	61
3.2.1 Interoperabilidad	61

3.2.2 Ancho de Banda	62
3.2.3 Calidad de Servicio (QoS)	63
3.2.4 Dimensionamiento	64
3.3 Selección de la Solución de Telefonía IP.....	65
3.3.1 Características de la Solución IP.....	67
3.3.1.1 Arquitectura del Sistema.....	67
3.3.1.2 Hardware	69
3.3.1.3 Software	70
3.3.1.4 Seguridad	71
3.3.1.5 Calidad de Servicio	72
3.3.1.6 Configuración de VLANs.....	73
3.3.1.7 Configuración del Router ISR 3825.....	74
3.3.1.8 Configuración del Cisco CallManager.....	75
3.3.1.9 Protocolos.....	75
3.3.1.10 Terminales Telefónicos.....	76
3.3.1.11 Alimentación de Energía.....	77
3.3.1.12 Dimensionamiento del Sistema.....	78
3.3.1.13 Codec de Voz.....	80
CAPÍTULO IV	
PRUEBAS Y DEMO.....	82
4.1 Pruebas Realizadas.....	82
4.1.1 Información General del Equipo ATA 186.....	82
4.1.1.1 Características	83
4.1.1.2 Configuración Automática del ATA 186.....	83
4.1.2 Configuración del ATA 186 para Operar en Subestaciones	84
4.1.3 Desempeño del ATA 186.....	85
4.1.4 Prueba de Extensiones Auxiliares.....	89
4.1.5 Prueba de Distancia del Teléfono Analógico.....	90
4.2 Demo.....	92
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	96
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES.....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
BIBLIOGRAFÍAS	106
ANEXOS.....	104
Anexo1. Redes de Telecomunicaciones de La Electricidad de Caracas C.A.	108
Anexo2. Topología de la Red Metro Ethernet de	

La Electricidad de Caracas C.A.	114
Anexo3. Prueba Piloto	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Configuración de la central telefónica del Despacho de Carga.	54
Tabla 2.2 Valores utilizados para el cálculo de la intensidad de tráfico.	57
Tabla 3.1 Características de las normas de codificación de voz	81
Tabla 4.1 Funcionamiento del dispositivo ATA 186 en ambiente DHCP.	88
Tabla 4.2 Valores medidos en extensiones auxiliares.	90
Tabla 4.3 Valores medidos en prueba a distancia	91
Tabla 4.4 Funcionamiento del Dispositivo ATA 186 en Ambiente sin DHCP.	95
Tabla 5.1 Gasto mensual promedio del sistema telefónico actual	97
Tabla 5.2 Costo de equipos a Instalar en el Despacho de Carga.	98
Tabla 5.3 Costo de un nodo TIP en subestaciones	98

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Establecimiento de la comunicación entre dos estaciones.	7
Figura 1.2 Modelo OSI	9
Figura 1.3 Modelo TCP/IP	13
Figura 1.4 Topología de bus	18
Figura 1.5 Topología de anillo	19
Figura 1.6 Topología de estrella	20
Figura 1.7 Topología de árbol	20
Figura 1.8 Topología de malla	21
Figura 2.1 Red telefónica de La Electricidad de Caracas C.A.	46
Figura 2.2 Configuración del sistema de telefonía IP del CIAT	49
Figura 2.3 Configuración del sistema de telefonía IP corporativo.....	51
Figura 2.4 Programa utilizado para el cálculo de la intensidad de tráfico.	57
Figura 3.1 Arquitectura de la solución propuesta	69
Figura 4.1 Diagrama de Conexión del Dispositivo ATA 186.....	86
Figura 4.2 Pantalla de Configuración de Red del Dispositivo ATA 186.....	87

ACRÓNIMOS

API	<i>Aplication Programming Interfaces</i>
APNSS	<i>Analog Private Network Signaling System</i>
ASCII	<i>American Standard Code Information Interchange</i>
ATA	<i>Analog Telephone Adapter</i>
BTN	<i>Basics Telephone Network</i>
CAR	<i>Committed Access Rate</i>
CAS	<i>Channel Associated Signaling</i>
CDP	<i>Cisco Discovery Protocol</i>
CIAT	<i>Centro Integral de Atención Telefónica</i>
CNG	<i>Confort Noise Generation</i>
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DID	<i>Direct Inward Dial</i>
DP	<i>Database Publisher</i>
DPNSS	<i>Digital Private Network Signaling System</i>
DSCP	<i>Differentiated Service Code Point</i>
DSP	<i>Digital Signal Protocol</i>
E&M	<i>Ear and Mouth</i>
EBCDIC	<i>Extended Binary Coded Decimal Interchange Code</i>
FDDI	<i>Fiber Distributed Data Interface</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
FXS	<i>Foreign Exchange Station</i>
HTTPS	<i>Hypertext Transfer Protocol Secure</i>
ICANN	<i>Internet Corporation for Assigned Names and Numbers</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>

IOS	<i>Internetwork Operating System</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>
ISR	<i>Integrated Service Router</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MAU	<i>Media Access Unit</i>
MC	<i>Multipoint Controller</i>
MCS	<i>Media Converge Server</i>
MCU	<i>Multipoint Control Units</i>
MP	<i>Multipoint Processors</i>
NAT	<i>Network Address Translation</i>
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
PBX	<i>Private Business eXchange</i>
PoE	<i>Power over Ethernet</i>
POTS	<i>Plain Old Telephone Service</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PVDM	<i>Packet Voice DSP Modules</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RAS	<i>Registration/Admission/Status</i>
RTCP	<i>Real Time Control Protocol</i>
RTMT	<i>Real Time Monitoring Tool</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SCCP	<i>Skinny Client Control Protocol</i>
SCN	<i>Switched Circuit Network</i>

SHA	<i>Secure Hash Algorithm</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SRST	<i>Survivable Remote Site Telephony</i>
TCP	<i>Transport Control Protocol</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
TDR	<i>Time Domain Reflectometer</i>
TFTP	<i>Trivial File Transfer Protocol</i>
TIP	<i>Telefonía IP</i>
TLS	<i>Transport Layer Security</i>
UA	<i>User Agent</i>
UAC	<i>User Agent Client</i>
UAS	<i>User Agent Server</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
UTP	<i>Unshielded Twister Pair</i>
VAD	<i>Voice Activity Detection</i>
VLAN	<i>Virtual Local Area Network</i>
VoIP	<i>Voice Over Internet Protocol</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

INTRODUCCIÓN

La telefonía es uno de los medios de comunicación que más impacto ha tenido sobre la humanidad. Es un sistema que se utiliza para la transmisión de la voz en ambos sentidos y de manera simultánea por medio de señales eléctricas. La búsqueda de nuevas tecnologías de comunicación durante más de un siglo, se ha concentrado fundamentalmente en perfeccionar este medio de comunicación por excelencia. “Su disponibilidad a costos relativamente bajos y fácil manipulación, lo convirtieron no sólo en un implemento auxiliar de la vida cotidiana sino en un medio indispensable para la economía, la política y la cultura” [1].

La invención del teléfono constituyó una carrera apasionante y muy polémica en la que se vieron involucrados científicos reconocidos, entre estos cabe destacar a Alexander Graham Bell, al cual se le atribuyó por mucho tiempo la invención del teléfono y “actualmente se sabe que plagió dicho invento, por lo que el 11 de Junio de 2002 el Congreso de los Estados Unidos aprobó la resolución 269, mediante la cual se reconoce a Antonio Meucci como inventor del teléfono y a Bell como el que lo patentó” [2].

Después de la construcción del primer teléfono (1876) los avances tecnológicos no se hicieron esperar, dos años más tarde, “en 1878, se instalaron las primeras centrales telefónicas para conectar entre si a 1.350 equipos que funcionaban en diferentes casas de Estados Unidos” [1], dando lugar a la primera red telefónica de la historia. En los años siguientes estas redes fueron evolucionando, pasando de centrales de conmutación manual mediante la intervención de un operador(a) hasta las centrales digitales de conmutación automática totalmente electrónicas controladas por computadoras, estas últimas son las utilizadas hoy en día y permiten múltiples

servicios complementarios al propio establecimiento de la comunicación.

Las redes telefónicas mencionadas anteriormente se basan en el concepto de conmutación de circuitos, en tal sentido, la realización de una comunicación requiere el establecimiento de un circuito físico durante el tiempo que dura ésta, lo que significa que los recursos que intervienen en la realización de una llamada no pueden ser utilizados en otra hasta que la primera no finalice, incluso durante los silencios que ocurren dentro de una conversación típica, lo que se traduce en un uso deficiente de la red. Por esta razón, aunado al gran auge de las redes Ethernet y la Internet en los últimos años, las investigaciones en el área de las telecomunicaciones se vieron orientadas a la búsqueda de técnicas que hagan mejor uso de los recursos.

Es aquí donde surge IP (*Internet Protocol*) como una alternativa de red de transporte para las señales de voz, ya que esta se basa en el concepto de conmutación de paquetes, es decir, “una misma comunicación sigue diferentes caminos entre origen y destino durante el tiempo que dure la misma, lo que significa que los recursos que intervienen en una conexión pueden ser utilizados por otras conexiones que se efectúen al mismo tiempo” [3].

Es obvio que el segundo tipo de redes proporciona a los operadores una mayor relación ingresos-recursos, es decir, con la misma cantidad de inversión en infraestructura de red se obtienen mayores ingresos, ya que es posible prestar más servicios a los clientes o aumentar la calidad de servicio y velocidad de transmisión por el mismo precio. Es por esta razón que los operadores ven la posibilidad de una reducción de costos y la gestión de una red única mediante la implantación de soluciones de redes convergentes como lo son Voz sobre IP (*Voice over Internet Protocol* [VoIP]).

La Electricidad de Caracas C.A., al ser una empresa dedicada a la generación

y distribución de energía, se ve en la necesidad de tener una infraestructura de telecomunicaciones confiable que le permita monitorear y controlar todas las plantas de generación y las subestaciones eléctricas con la finalidad de mantener la calidad del servicio que le ofrece a sus clientes. Dicha plataforma está conformada por una red de microondas, sistemas punto-multipunto, fibra óptica y una red de cobre. Esta última se encuentra en estado de obsolescencia, lo que se traduce en un alto índice de fallas asociadas a comunicaciones en las unidades de control y monitoreo de las subestaciones (Remote Terminal Unit [RTU]) tanto de distribución como de transmisión. Además dicha red no es capaz de soportar la carga de trabajo actual así como no es apta para ofrecer soluciones a las nuevas tecnologías emergentes que los clientes internos solicitan constantemente [4]. Por esta razón la empresa se ha preocupado por desarrollar una serie de proyectos que buscan tanto la actualización de su infraestructura de telecomunicaciones, como también la convergencia hacia una red global integrada de servicios.

En entrevista realizada al personal técnico del grupo de Transmisión de Voz y Datos de La Electricidad de Caracas C.A. [5] se conoció que a principios del año 2006 la Gerencia de Telecomunicaciones dio inicio a la ejecución de un proyecto que busca la unificación de sus servicios a través de un único medio (Fibra Óptica). Este se conoce como “El Proyecto LAN de Subestaciones”, el cual tiene como objetivo, en su primera fase, interconectar 26 subestaciones mediante tres anillos de fibra óptica, creando así una LAN (*Local Area Network*) que sirva de soporte para transmitir los principales servicios que requieren las subestaciones.

Es aquí donde entra en juego la telefonía IP, ya que actualmente el servicio telefónico del que gozan las subestaciones y gran parte de la empresa se presta mediante una red de cobre y sus diversas centrales telefónicas. Dicha red posee un alto índice de fallas debido a su obsolescencia y su vulnerabilidad a los embates de la naturaleza, lo cual trae como consecuencia un aumento en la indisponibilidad del

servicio y en los costos de mantenimiento, Tanto es así que según estadística realizada por el grupo de Transmisión de Voz y Datos para el período Enero 2005 - Enero 2006 el 38.13% de las fallas reportadas fueron asociadas a extensiones telefónicas, de las cuales más del 95% tuvo su origen en la red de cobre. Además existe el proyecto LAN de subestaciones que ofrece un medio de transmisión adecuado para nuevas tecnologías, el cual puede ser aprovechado para la transmisión de voz mediante la solución de Telefonía IP, liberando así pares de cobre necesarios para transmitir servicios críticos (protecciones) que no son soportados por Ethernet.

De esta manera, se haría un mejor uso de los anillos de fibra óptica, tendiendo así a una red global integrada de servicios, lo que trae una disminución de costos al tener que mantener una sola red, así como también al tener que capacitar personal de instalación y mantenimiento en una sola tecnología.

El presente trabajo comprende el estudio técnico económico para la implantación de una solución de Telefonía IP en las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A. En tal sentido los objetivos que inicialmente se plantean para alcanzar tal fin son los siguientes:

- Estudiar la estructura de la red telefónica de subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A.
- Recopilar las posibles soluciones de telefonía IP especificando características de cada una.
- Analizar la relación costo/ beneficio de cada una de las soluciones propuestas.

- Seleccionar la solución que se ajuste más a las necesidades de la empresa tomando en cuenta el menor impacto técnico y económico posible.
- Implantar un “Demo” del sistema en una subestación piloto para la realización de pruebas.
- Establecer las recomendaciones para la implementación de la plataforma y elaborar el informe final.

Una vez alcanzados estos objetivos se dispondrá de una propuesta plenamente justificada que servirá como herramienta a la Gerencia de Telecomunicaciones de La Electricidad de Caracas C.A. para tomar la decisión acerca de la solución de Telefonía IP a implantar en la subestaciones.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Redes de Conmutadas

En el mundo de las telecomunicaciones existen diferentes arquitecturas y procedimientos empleados para transferir la información en las redes conmutadas de comunicaciones, de las cuales, las más conocidas son la configuración de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.

1.1.1 Conmutación de Circuitos

Las conexiones mediante conmutación de circuitos se basan en la existencia de un camino o canal de comunicación dedicado entre dos estaciones, lo que se traduce en una secuencia de enlaces conectados entre nodos de la red, en donde cada uno de los enlaces físicos posee un canal lógico dedicado para cada conexión establecida. Esta topología fue desarrollada para el tráfico de voz analógico como es el caso de la red telefónica pública PSTN (*Public Switched Telephone Network*). En la actualidad también se usa para transmisión de datos vía modem y está siendo progresivamente digitalizada.

La conmutación de circuitos implica tres fases:

- a) **Establecimiento del circuito:** Se establece un circuito extremo a extremo. Por ejemplo la estación A envía una solicitud al nodo 1 (a través de una línea

dedicada) pidiendo una conexión con la estación B. El nodo 1 debe encontrar una ruta hacia el nodo 3 en función de las estrategias de encaminamiento y costo del enlace. El nodo 1 selecciona el enlace hacia el nodo 2, reserva un canal libre de enlace (utilizando FDM [*Frequency Division Multiplexing*] o TDM [*Time Division Multiplexing*]) y lo mismo hace el nodo 2 hacia el nodo 3; a continuación se envía un mensaje a B solicitando la conexión.

- b) **Transferencia de datos:** Después del establecimiento del circuito se transmite la información (analógica o digital) de A a B, siguiendo el camino formado por el enlace A-1, canal 1-2, canal 2-3 y enlace 3-B. Normalmente esta conexión es bidireccional.
- c) **Desconexión del circuito:** Después de la transferencia de datos, la conexión finaliza por orden de una de las dos estaciones involucradas A o B. Esta señal de desconexión se debe de propagar por los nodos 1, 2 y 3 para que liberen los recursos dedicados a la conexión que se cierra.

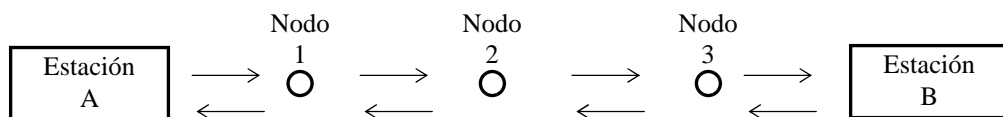


Figura 1.1 Establecimiento de la comunicación entre dos estaciones.

1.1.2 Conmutación de Paquetes

La conmutación de paquetes es el diseño de red en donde el transmisor separa los datos en pequeños paquetes o datagramas, cada uno de estos contiene la dirección de origen, la dirección de destino, información acerca de cómo volver a

unirse con otros datagramas emparentados y número total de paquetes a transmitir para considerar terminada la transferencia de los datos. Este proceso permite que paquetes de distintas localizaciones se trasladen por las mismas líneas y que sean clasificados y dirigidos a distintas rutas. De la misma manera cada datagrama dispone de una gran cantidad de caminos para llegar a su destino y cada paquete es enviado por uno distinto si el directo esta saturado.

Esta variedad de caminos es la gran ventaja de la conmutación de paquetes, ya que posibilita la transmisión en paralelo y si existen errores en el mensaje, no hace falta retransmitirlo entero, sino sólo el paquete afectado [6].

1.2 Modelo OSI

“A principio de la década de 1980 se produjo un enorme crecimiento en la cantidad y el tamaño de las redes. A medida que las empresas tomaron conciencia de las ventajas de usar tecnología de networking, las redes se agregaban o expandían a casi la misma velocidad a la que se producían las nuevas tecnologías de red” [7].

Esto impulsó el desarrollo y la implantación de numerosas tecnologías y especificaciones, lo que trajo como consecuencia dificultad en la comunicación entre las distintas redes existentes para la época. Para enfrentar este problema de incompatibilidad de redes, la Organización Internacional para la Estandarización (*International Standards Organization* [ISO]) desarrollo un modelo de red que ayuda a los fabricantes a crear redes que sean compatibles.

Dicho modelo consta de siete (7) niveles o capas que serán descritas a continuación y debe considerarse como un modelo referencial y no como una

arquitectura de red, ya que no especifica el protocolo que debe ser utilizado en cada una de las capas que lo conforman.



Figura 1.2 Modelo OSI

1.2.1 Capa Física

Se encarga de las conexiones físicas hacia la red incluyendo el medio, características del mismo y la forma en la que se transmite la información. Es la encargada de transmitir los bits de información ocupándose de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes, de la velocidad de transmisión y si esta es unidireccional o bidireccional. También comprende los aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales, las cuales pueden ser eléctricas o magnéticas.

Se encarga de transformar una trama de datos proveniente del nivel de enlace en una señal adecuada al medio físico utilizado en la transmisión. Cuando actúa en modo recepción el trabajo es inverso, en tal sentido, se encarga de

transformar la señal transmitida en tramas de datos binarios que serán entregados al nivel de enlace.

1.2.2 Capa de Enlace de Datos

La capa de enlace de datos garantiza que la información fluya libre de errores entre dos máquinas que estén conectadas directamente. Este nivel es el encargado de crear las tramas, dotándolas de una dirección de nivel de enlace, gestionar la detección de errores, ocuparse del control de flujo entre equipos (esto con la finalidad de evitar que un equipo más rápido sature a uno más lento) y coordinar el uso del medio de comunicación (cuando esté compartido por más de dos equipos).

1.2.3 Capa de Red

Define el envío de paquetes entre equipos, aunque estos no estén conectados directamente, es responsable de establecer, mantener y terminar las conexiones, se encarga de encontrar un camino o ruta entre origen y destino manteniendo una tabla de enrutamiento, conmuta y controla la congestión de los paquetes de información en una sub-red y define el estado de los mensajes que se envían a los nodos.

1.2.4 Capa de Transporte

Este nivel actúa como un puente entre las tres capas inferiores totalmente orientadas a las comunicaciones y las tres capas superiores totalmente orientadas al procesamiento, asegurando que los datos provenientes de la capa de red (nivel 3) encuentren las características de transmisión y calidad de servicio requeridas por el nivel 5 (Sesión). En esta capa se proveen servicios de conexión para la capa de sesión, los cuales pueden ser diferentes según el requerimiento que se le haga a la

capa de transporte. Esta capa asigna una dirección única de transporte a cada usuario, precisa una posible multicanalización, determina la manera de habilitar y deshabilitar las conexiones entre los nodos, define el protocolo que garantiza el envío del mensaje y establece la transparencia de datos así como la confiabilidad en la transferencia de información entre dos sistemas.

1.2.5 Capa de Sesión

Provee los servicios utilizados para la organización y sincronización del diálogo entre usuarios y el manejo e intercambio de datos. Establece el inicio, término y recuperación de la sesión, controla el diálogo estableciendo el orden en que los mensajes deben fluir entre usuarios finales y además es la capa encargada de referenciar a los dispositivos por nombres y no por sesión. En tal sentido esta capa asegura que, dada una sesión establecida entre dos máquinas, la misma se pueda efectuar para las operaciones definidas de principio a fin, reanudándolas en caso de interrupción.

1.2.6 Capa de Presentación

El objetivo de la capa de presentación es encargarse de la representación de la información, de manera que aunque distintos equipos puedan tener diferentes representaciones internas de caracteres (ASCII [*American Standard Code Information Interchange*], Unicode, EBCDIC [*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*]), números (little-endian tipo Intel, big-endian tipo Motorola), sonido o imágenes, los datos lleguen de manera reconocible. Esta capa es la primera

en trabajar el contenido de la comunicación y no el establecimiento de la misma. En ella se tratan aspectos tales como la semántica¹ y la sintaxis de los datos transmitidos, ya que distintas computadoras pueden tener diferentes formas de manejarlas. Por lo tanto, esta capa es la encargada de manejar las estructuras de datos abstractas y realizar las conversiones de representación de datos necesarias para la correcta interpretación de los mismos.

1.2.7 Capa de Aplicación

Esta capa provee un mecanismo para que procesos de aplicación accedan al entorno OSI (*Open System Interconnection*). A diferencia del resto de las capas, sus usuarios son procesos de aplicación en vez de entidades de una capa superior, por ejemplo programas o paquetes que proveen servicios para los usuarios humanos del sistema final. Provee servicios de aplicación independientes del sistema a los usuarios o programas de usuario utilizando los servicios que ofrece la capa de presentación.

A diferencia del resto de las capas que están constituidas por una única entidad correspondiente a dicha capa, en esta existe un *agente de aplicación* y una *entidad de aplicación*. A la unión de ambos se denomina *procesos de aplicación*.

El *agente de aplicación* hace de interfaz con el usuario y con el sistema operativo del sistema final sobre el que esta instalado para permitir el acceso a los recursos (sistema de archivos, dispositivos, entrada/salida, etc.). La especificación de

¹ Subcampo de la gramática, y por extensión, de la lingüística que se dedica al estudio del significado de los signos lingüísticos y de sus combinaciones.

este agente no se realiza por OSI, ya que es dependiente del sistema (p. e. windows, unix, otros).

La *entidad de aplicación* desarrolla las actividades de aplicación independientes del sistema, las cuales se ven como servicios de aplicación disponibles para el *agente de aplicación*.

1.3 Modelo TCP/IP

Este modelo es la asociación del Protocolo de Internet a un Protocolo de Control de Transporte (*Transport Control Protocol* [TCP]), el cual dirige un intercambio de datos entre dos máquinas en lo que se puede llamar “conversación” entre estas.

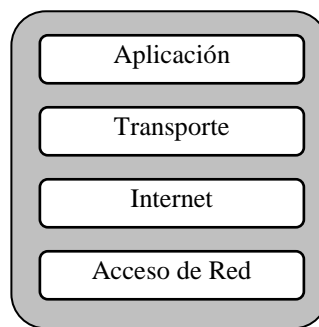


Figura 1.3 Modelo TCP/IP

“Aunque el modelo de referencia OSI es universalmente reconocido, el estándar abierto de Internet desde el punto de vista histórico y técnico es TCP/IP.” [8]. Esto se debe a que TCP/IP simplifica el esquema de OSI limitando el problema de la comunicación entre máquinas a 4 niveles simples: Aplicación, Transporte, Internet y Acceso a Red. Es importante observar que a pesar de que algunas de las

capas del modelo TCP/IP poseen el mismo nombre de las capas del modelo OSI estas no realizan las mismas funciones.

1.3.1 Capa de Aplicación

Comprende el manejo de protocolos de alto nivel, aspectos de representación, codificación y control de diálogo, el modelo TCP/IP combina todos los aspectos relacionados con las aplicaciones en una sola capa y garantiza que estos datos estén correctamente empaquetados para el siguiente nivel.

1.3.2 Capa de Transporte

Se refiere a los aspectos de calidad del servicio con respecto a la fiabilidad, el control de flujo y la corrección de errores. Uno de sus protocolos, el protocolo para el control de la transmisión (TCP), ofrece maneras flexibles y de alta calidad para crear comunicaciones de red fiables, sin problemas de flujo y con un nivel de error bajo.

1.3.3 Capa de Internet

El propósito de este nivel es enviar paquetes origen desde cualquier punto de la red y que estos paquetes lleguen a su destino independientemente de la ruta y de las redes que recorrieron para llegar hasta allí. El protocolo específico que rige esta capa se denomina Protocolo Internet (IP). En esta capa se produce la determinación de la mejor ruta y la conmutación de paquetes.

1.3.4 Capa de Acceso de Red

Esta capa también se denomina capa de host a red, aquí se gestionan todos los aspectos que requiere un paquete IP para realizar realmente un enlace físico. Esta capa incluye los detalles de tecnología LAN y WAN (*Wide Area Network*) y todos los detalles de las capas física y de enlace de datos del modelo OSI.

Cabe destacar que en el modelo TCP/IP existe solamente un protocolo de red: IP, independientemente de la aplicación que solicita servicios de red o del protocolo de transporte que se utiliza, en tal sentido IP sirve como protocolo universal que permite que cualquier computador en cualquier parte del mundo pueda comunicarse.

1.4 Redes de Área Local (LAN) y Redes de Área Amplia (WAN)

LAN, por sus siglas en inglés *Local Area Network*, se define como un sistema de comunicación entre computadoras y periféricos que permite compartir información, teniendo como principal característica el poseer un campo de acción pequeño. Su aplicación más común es la interconexión de computadoras personales y estaciones de trabajo en oficinas o fabricas, con la finalidad de compartir recursos e intercambiar datos y aplicaciones. En definitiva permite que dos o más máquinas se comuniquen.

1.4.1 Las Características más resaltantes de las LAN son:

- Tecnología broadcast (difusión) con el medio de transmisión compartido.
- Capacidad de transmisión comprendida entre 1Mbps y 1Gbps.

- Extensión máxima no superior a 3 Km. (una FDDI [*Fiber Distributed Data Interface*] puede llegar a 200 Km.).
- Uso de un medio de comunicación privado.
- La simplicidad del medio de transmisión que utiliza (cable coaxial, cables telefónicos y fibra óptica).
- La facilidad con la que se pueden efectuar cambios en el hardware y en el software.
- Gran variedad y número de dispositivos conectados.
- Posibilidad de conexión con otras redes.

Por otra parte existen las WAN (*Wide Area Network*) definidas como una red que se extiende sobre un área geográfica extensa, a veces un país o un continente; y su función fundamental está orientada a la interconexión de redes o equipos terminales que se encuentran ubicados a grandes distancias entre sí. Para ello cuentan con una infraestructura basada en poderosos nodos de conmutación que llevan a cabo la interconexión de dichos elementos, por los que además fluyen un volumen apreciable de información de manera continua. Por esta razón las WAN son concebidas como redes públicas, ya que el tráfico de información que por ellas circula proviene de diferentes lugares, siendo usada por numerosos usuarios de diferentes países del mundo para transmitir información de un lugar a otro. A diferencia de las redes LAN, la velocidad a la que circulan los datos por esta suele ser menor que la que se puede alcanzar en las LAN. Además, las redes LAN tienen carácter privado, pues su uso está restringido normalmente a los usuarios miembros de una empresa, o institución, para los cuales la red fue diseñada.

Esta solución de WAN es utilizada normalmente cuando no es factible tender redes locales, ya sea porque la distancia no lo permite, por el costo de la infraestructura o simplemente porque es preciso atravesar terrenos públicos en los que

no es posible tender infraestructura propia

1.4.2 Topología de las LAN

La arquitectura o topología de red es la disposición física y lógica en la que se conectan los nodos de una red de ordenadores o servidores, mediante la combinación de estándares y protocolos. Define las reglas de una red y cómo interactúan sus componentes. Estos dispositivos de red pueden conectarse de muchas y muy variadas maneras, la conexión más simple es un enlace unidireccional entre dos nodos y se puede añadir un enlace de retorno para la comunicación en ambos sentidos. Los cables de comunicación modernos normalmente incluyen más de un cable para facilitar esto.

La topología de red la determina únicamente la configuración de las conexiones entre nodos. La distancia entre los nodos, las interconexiones físicas, las tasas de transmisión y/o los tipos de señales no pertenecen a la topología de la red, aunque pueden verse afectados por la misma.

1.4.2.1 Topologías Físicas

Una parte de la definición topológica es la topología física, esta se refiere a la disposición real de los equipos en la red y del cableado que conforma el medio de comunicación. A continuación se describen las topologías más comúnmente utilizadas.

1.4.2.1.1 Topología de Bus

Es la forma más simple de LAN, en la que todos los terminales están conectados a un único canal de comunicaciones por medio de unidades interfaz y derivadoras, por lo que en caso de falla del mismo una parte de la red quedaría sin servicio. Esta topología permite que todos los dispositivos de la red puedan ver todas las señales de todos los demás terminales, lo que puede ser ventajoso si desea que todos obtengan esta información. Sin embargo, puede representar una desventaja, ya que es común que se produzcan problemas de tráfico y colisiones, que se pueden mitigar segmentando la red en varias partes. Es la topología más común en pequeñas LAN, con hub o switch final en uno de los extremos.

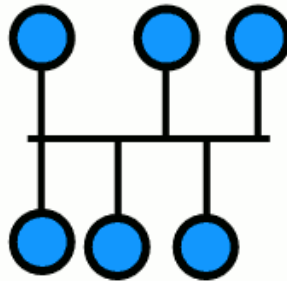


Figura 1.4 Topología de bus

1.4.2.1.2 Topología de Anillo

Se basa en conectar a un terminal con el siguiente y el último con el primero creando así un anillo físico de cable. Por esta razón cada estación debe poseer un transmisor y un receptor que hagan la función de repetidor para poder transferir la información al siguiente equipo. En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un *Token Ring* o “testigo”, evitando así las eventuales pérdidas de información debidas a colisiones.

También existe la topología de anillo doble, en el cual dos anillos permiten que los datos se envíen en ambas direcciones, creando así redundancia.

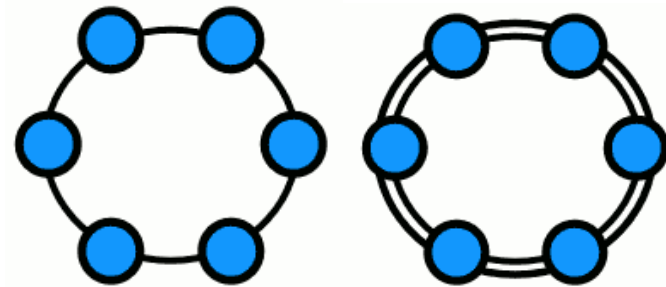


Figura 1.5 Topología de anillo

1.4.2.1.3 Topología en Estrella

En la topología en estrella existe un elemento central o eje (*hub*) el cual sirve como puente entre las estaciones, proporcionando la comunicación entre ellas. En caso de falla de una estación o su cableado, no afecta a las demás, pero presenta como punto crítico el nodo central, que en caso de falla, deja la red sin servicio. El costo del cableado es mas elevado por requerir conexiones punto a punto para todas las estaciones, pero es más práctico, ya que todo cableado llega a un armario o cajetín central. Además permite utilizar distintos medios de transmisión y es fácil la detección de averías.

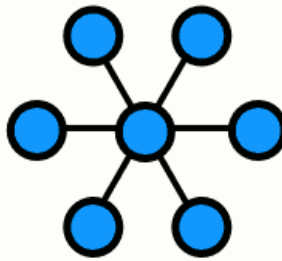


Figura 1.6 Topología de estrella

1.4.2.1.4 Topología en Árbol

En esta topología el flujo de información es jerárquico y puede verse como una combinación de varias topologías en estrellas, salvo que no posee un solo nodo central. Tanto la estructura de árbol como la de estrella son similares a la de bus cuando el nodo de interconexión trabaja en modo difusión, pues la información se propaga hacia todas las estaciones, solo que en esta topología las ramificaciones se extienden a partir de un punto raíz (estrella), a tantas ramificaciones como sean posibles, según las características del árbol.

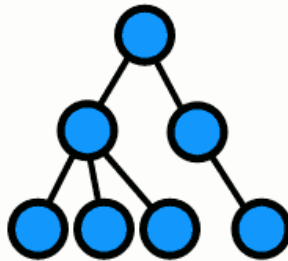


Figura 1.7 Topología de árbol

1.4.2.1.5 Topología de Malla

Esta es implementada para proporcionar la mayor protección posible evitando una interrupción en el servicio. Consiste en interconectar cada terminal con los otros de manera independiente. Una aplicación para esta estructura sería en un sistema de control en red de una planta nuclear, ya que la transmisión de los datos en ese caso es crítica y no se puede permitir una interrupción del servicio.

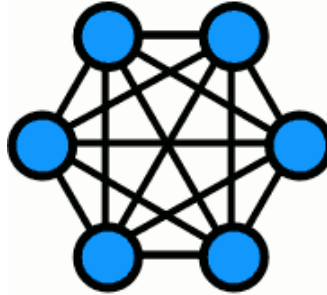


Figura 1.8 Topología de malla

1.4.2.2 Topologías Lógicas

Una vez establecida la estructura física del medio de comunicación, es necesario definir la topología lógica, esta se refiere a la forma en que los dispositivos de red se comunican a través del medio, en tal sentido se pueden establecer criterios que evitan inconvenientes como la colisión de paquetes. Los dos tipos más comunes de topologías lógicas se describen a continuación.

1.4.2.2.1 Topología Broadcast

Simplemente significa que cada terminal transmite los datos a todos los demás equipos de la red y no existe un orden a seguir por las estaciones para utilizar la red. En una red de broadcast la cuestión principal es como determinar quien usa un canal para el cual existe competencia. Los protocolos para esto pertenecen a un subnivel de la capa de enlace conocido como MAC (Control de Acceso al Medio [*Medium Access Control*]).

1.4.2.2.2 Topología Token Ring

Este tipo de red es una implementación del Standard IEEE 802.5, y fue desarrollada por IBM en la década de los 70s. El acceso al medio es determinado por el paso de testigo o Token, este es enviado de computadora en computadora, y cuando una de ellas desea transmitir datos, debe esperar la llegada del token vacío, el cual tomará e introducirá los datos a transmitir, y enviará el token con los datos al destino. Una vez que la computadora destino recibe el token con los datos, esta lo envía de regreso a la computadora que lo transmitió con el mensaje de que los datos fueron recibidos correctamente, liberando así el token, de esta manera el token va de computadora en computadora hasta que otra máquina desee transmitir, y así se repetirá el proceso. La principal ventaja de esta topología es que como solo puede transmitir una computadora a la vez (la que posea el token), no existe colisión de paquetes en el medio. Cada computadora se conecta a un concentrador llamado MAU (Unidad de Acceso al Medio [*Media Access Unit*]), y aunque la red quede físicamente en forma de estrella, lógicamente funciona en forma de anillo por el cual da vueltas el Token.

1.5 Protocolo de Internet

Mejor conocido como IP por sus siglas en inglés (Internet Protocol), es un estándar TCP/IP que está definido en RFC 791². Fue diseñado para su uso en sistemas interconectados de redes de comunicación de computadoras por conmutación de paquetes. Este protocolo proporciona los medios necesarios para la transmisión de bloques de datos llamados datagramas desde el origen al destino a través de un sistema de redes interconectadas, donde el origen y el destino son equipos terminales identificados por direcciones de longitud fija. El Protocolo de Internet también se encarga, si es necesario, de la fragmentación y el reensamblaje de grandes datagramas para su transmisión a través de redes de trama pequeña.

No existen mecanismos para aumentar la fiabilidad de datos entre los extremos, control de flujo, secuenciamiento u otros servicios que se encuentran normalmente en otros protocolos punto a punto. IP puede aprovecharse de los servicios de sus redes de soporte para proporcionar varios tipos y calidades de servicio.

Este protocolo es utilizado en un entorno Internet empleando a su vez protocolos de red locales para llevar el datagrama a la próxima pasarela (*Gateway*) o terminal destino. Por ejemplo, un módulo TCP llamaría al módulo Internet para tomar un segmento TCP (incluyendo la cabecera TCP y los datos de usuario) como la parte de datos de un datagrama Internet. El módulo TCP suministraría las direcciones y otros parámetros de la cabecera Internet al módulo Internet como argumentos de la

² Documento creado por la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) donde se especifica el Protocolo de Internet estándar del Departamento de Defensa de Estados Unidos.

llamada. Este módulo crearía entonces un datagrama y utilizaría la interfaz de la red local para transmitir el datagrama Internet.

1.5.1 Operación

El Protocolo Internet implementa dos funciones básicas: direccionamiento y fragmentación. Los módulos internet usan las direcciones que se encuentran en la cabecera para transmitir los datagramas hacia sus destinos. La selección de un camino para la transmisión se llama enrutamiento. Los módulos internet usan campos en la cabecera para fragmentar y reensamblar los datagramas cuando sea necesario para su transmisión a través de redes de "trama pequeña".

El modelo de operación consiste en un módulo internet residiendo en cada terminal involucrado en la comunicación y en cada pasarela que interconecta redes. Dichos módulos comparten reglas comunes para interpretar los campos de dirección y para fragmentar y ensamblar datagramas internet. Además, están equipados con procedimientos para tomar decisiones de enrutamiento y otras funciones, tratando cada paquete como una entidad independiente no relacionada con ningún otro datagrama.

El Protocolo Internet utiliza cuatro mecanismos clave para prestar su servicio:

1.5.1.1 Tipo de Servicio

Se utiliza para indicar la calidad del servicio deseado. El tipo de servicio es un conjunto abstracto o generalizado de parámetros que caracterizan las elecciones de servicio presentes en las redes que forman Internet. Esta indicación de tipo de

servicio será usada por las pasarelas para seleccionar los parámetros de transmisión efectivos para una red en particular, la red que se utilizará para el siguiente salto, o la siguiente pasarela al encaminar un datagrama.

1.5.1.2 Tiempo de Vida

Se define como la indicación de un límite superior en el periodo de vida de un datagrama internet. Es fijado por el remitente del datagrama y reducido en los puntos a lo largo de la ruta donde es procesado, si el tiempo de vida se reduce a cero antes de que el datagrama llegue a su destino, el datagrama internet es destruido. Puede pensarse en el tiempo de vida como en un plazo de autodestrucción.

1.5.1.3 Opciones

Proporcionan funciones de control necesarias o útiles en algunas situaciones pero innecesarias para las comunicaciones más comunes. Las opciones incluyen recursos para marcas de tiempo, seguridad y enrutamiento especial.

1.5.1.4 Suma de Control de Cabecera

Provee una verificación de que la información contenida en el paquete ha sido transmitida correctamente. Los datos pueden sufrir alteraciones en la comunicación, por ese motivo se incluye cierta información redundante que contiene una suma de comprobación de los campos de cabecera. Si al recibir un nuevo paquete la suma de comprobación es inválida, el paquete es descartado inmediatamente por la entidad que detecta el error.

Como se puede apreciar el Protocolo Internet por si solo no proporciona ningún mecanismo de comunicación fiable ya que no existen acuses de recibo ni entre extremos ni entre saltos, no hay control de errores para los datos, sólo una suma de control de cabecera, no hay retransmisiones y no existe control de flujo. Los errores detectados pueden ser notificados por medio del ICMP (*Internet Control Message Protocol*).

1.5.2 Descripción de Funciones

La función o propósito del Protocolo Internet es mover datagramas a través de un conjunto de redes interconectadas, esto se consigue pasando los datagramas desde un módulo internet a otro hasta que se alcanza el destino. Estos paquetes son encaminados a través de redes individuales basándose en la interpretación de una dirección de internet, por esto un mecanismo importante del Protocolo de Internet es la dirección IP. Adicionalmente, en el enrutamiento de mensajes de un módulo de internet a otro, los datagramas pueden necesitar atravesar una red cuyo tamaño máximo de paquete es menor que el tamaño del datagrama, por esto IP proporciona un mecanismo de fragmentación.

1.5.3 Dirección IP

Una dirección de Internet (dirección IP), es un número que identifica de manera lógica y jerárquica a una interfaz de un dispositivo dentro de una red. Esta puede cambiar al reconectar el terminal a la red, y a esta forma de asignación de dirección IP se le denomina IP dinámica, mientras que aquellos dispositivos que por su naturaleza requieren utilizar la misma dirección IP cada vez que se conecten a la red hacen uso de una dirección IP fija.

En su versión 4 (IPv4), una dirección IP se representa mediante un número binario de 32 bits. Las direcciones IP se pueden expresar como números de notación decimal, en tal sentido, se dividen los 32 bits de la dirección en cuatro octetos separados por el carácter “.”, el valor decimal de cada octeto puede estar comprendido entre 0 y 255.

Existen tres clases de direcciones IP, Clase A, Clase B y Clase C. En la actualidad, ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*) reserva las direcciones de clase A para los gobiernos de todo el mundo y las direcciones de clase B para las medianas empresas. Se otorgan direcciones de clase C para todos los demás solicitantes. Cada clase de red permite una cantidad fija de dispositivos.

- Clase A, se asigna el primer octeto para identificar la red, reservando los tres últimos octetos (24 bits) para que sean asignados a los terminales, de modo que la cantidad máxima es 2^{24} (menos dos: las direcciones reservadas de *broadcast* [tres últimos octetos a 255] y de red [tres últimos octetos a 0]), es decir, 16 777 214 equipos terminales.
- Clase B, se asignan los dos primeros octetos para identificar la red, reservando los dos octetos finales (16 bits) para que sean asignados a los dispositivos, de modo que la cantidad máxima de es 2^{16} (menos dos), o 65 534 equipos terminales.
- Clase C, se asignan los tres primeros octetos para identificar la red, reservando el octeto final (8 bits) para que sea asignado a los dispositivos, de modo que la cantidad máxima sea 2^8 (menos dos), o 254 equipos terminales.

Existen ciertas direcciones en cada clase de dirección IP que no están asignadas y que se denominan direcciones privadas, las cuales pueden ser utilizadas por terminales que usan traducción de red (NAT³) para conectarse a una red pública o por los dispositivos que no se conectan a Internet.

1.5.4 Enrutamiento

Se denomina enrutamiento al proceso de elegir un camino por el que se va a enviar un paquete, y enrutador o *router* al sistema encargado de tomar esa decisión. El propósito del enrutamiento es el de proveer al usuario de una red virtual de envío de datagramas IP sin conexión⁴, de una forma transparente y sin importar el número o tipo de redes físicas que el datagrama debe atravesar para llegar a su destino. Una LAN puede estar formada por múltiples redes físicas interconectadas por máquinas actuando de gateways. Cada pasarela o gateway está unido a dos o más redes físicas, mientras que los terminales o *host* suelen estar conectados a una sola red física.

1.5.5 Fragmentación

La fragmentación de un datagrama internet es necesaria cuando éste se origina en una red local que permite un tamaño de paquete grande y debe atravesar una red local que limita los paquetes a un tamaño inferior para llegar a su destino. Un datagrama internet puede ser marcado como "no fragmentar", y todo datagrama internet así marcado no será fragmentado entre distintas redes bajo ninguna

³ Network Address Translation: estándar que utiliza una o más direcciones IP para conectar varios computadores a otra red (normalmente a internet), los cuales tienen una dirección IP distinta (no válida). Para más información consultar <http://es.wikipedia.org/wiki/NAT>

⁴ No provee capacidad de control de error, secuencia y control de flujo.

circunstancia. Si un paquete marcado como "no fragmentar" no puede ser entregado en su destino sin fragmentarlo, entonces debe ser descartado.

El procedimiento de fragmentación y reensamblaje en internet tiene que ser capaz de dividir un datagrama en un número casi arbitrario de piezas que puedan ser luego reensambladas. El receptor de los fragmentos utiliza el campo de identificación para asegurarse que no se mezclan fragmentos de distintos datagramas. El campo posición ("offset") le indica al receptor la posición de un fragmento en el datagrama original. La posición y longitud del fragmento determinan la porción de datagrama original comprendida en este fragmento. El indicador "más-fragmentos" indica (puesto a cero) el último fragmento. Estos campos proporcionan información suficiente para reensamblar datagramas.

1.5.6 Ejemplo de Operación

Suponiendo que la transmisión involucra una pasarela intermedia, el modelo de operación para transmitir un datagrama de una aplicación a otra se ilustra en el siguiente escenario:

La aplicación remitente prepara sus datos y llama a su módulo internet local para enviar esos datos como un datagrama proporcionando la dirección destino y otros parámetros como argumentos de la llamada. El módulo internet prepara una cabecera de datagrama, adjunta los datos a él y determina una dirección de la red de área local (que en este caso es la dirección de una pasarela) para la dirección destino, luego dicho datagrama y la dirección local son enviados a la interfaz de red, la cual crea una cabecera de red local, se la adjunta al datagrama y envía este resultado a la red.

El datagrama llega a una pasarela encapsulado en la cabecera de red local, la interfaz de red local desprende esta cabecera y dirige el datagrama hacia el módulo internet, el cual determina a partir de la dirección destino que el datagrama debe ser reenviado a otro terminal en una segunda red. El módulo internet determina una dirección de red local para el destino y luego llama a la interfaz de red local de esa red para enviar el datagrama. Dicha interfaz crea una cabecera de red local y le adjunta el datagrama enviando el resultado al terminal de destino, la interfaz de red local de este le quita al datagrama la cabecera correspondiente y se lo envía al módulo internet. Este módulo determina que el datagrama va dirigido a una aplicación en este terminal, pasa los datos a la aplicación en respuesta a una llamada al sistema suministrando la dirección de origen y otros parámetros como resultado de la llamada.

1.6 Voz Sobre IP y Telefonía IP

La voz sobre IP, también conocida como VoIP es una tecnología que permite la transmisión de la voz a través de redes IP en forma de paquetes de datos. La telefonía IP es una aplicación inmediata de esta tecnología, debido a que permite la realización de llamadas telefónicas ordinarias sobre redes IP utilizando PCs, gateways y teléfonos estándares. De la misma manera ésta tecnología incluye servicios de comunicación como voz, fax y aplicaciones de mensajes de voz que son transportadas vía redes IP en lugar de ser transportados vía la red telefónica convencional.

Para lograr la transmisión eficaz de las llamadas es necesaria la definición de protocolos, los cuales regirán la arquitectura y funcionamiento del sistema, así como también proporcionan una serie de normas a los diferentes fabricantes con el fin de que puedan evolucionar en conjunto. Los protocolos RTP/RTCP (*Real-time*

Transport Protocol/Real Time Control Protocol) son utilizados en los servicios de comunicación en tiempo real sobre IP para la transmisión de flujos multimedia, pero en el establecimiento de la comunicación se han seguido varias vertientes. De un lado está el desarrollo de protocolos propietarios cuyo mayor problema ha sido la falta de compatibilidad, mientras que las otras opciones son los protocolos H.323 y SIP (*Session Initiation Protocol*).

1.6.1 H.323

Es una recomendación creada por la ITU (*Internacional Telecommunication Union*), en la que se cubren los requerimientos técnicos para los servicios de comunicaciones audiovisuales entre redes basadas en conmutación de paquetes como las redes LAN, WAN, Intranets e Internet. Estas redes pueden consistir de un segmento de red sencillo o pueden tener topologías complejas que incorporan muchos segmentos de red interconectados por otros enlaces de comunicación.

La recomendación describe los componentes de un sistema H.323, estos son: Terminales, *Gateways*, *Gatekeepers*, Controladores Multipuntos (MC), Procesadores Multipuntos (MP), y Unidades de Control Multipunto (MCU).

1.6.1.1 Terminales

Estos son los puntos finales de la comunicación, proporcionando transmisión en tiempo real y bidireccional. Para permitir que todos los terminales ínter operen se

define que deben soportar voz con un codec G.711⁵, por lo que el soporte para video y datos es opcional. De la misma manera todos los terminales deben soportar H.245, el cual es usado para acordar el uso del canal y las capacidades.

Otros tres componentes requeridos son:

- **Q.931** señalización y configuración de llamada.
- **RAS** (*Registration/Admission/Status*) protocolo utilizado para comunicar el terminal con el Gatekeeper.
- Soporte para **RTP/RTCP** para secuenciar paquetes de audio y video.

1.6.1.2 Gateways

También conocido como pasarela, es un elemento opcional de una conferencia H.323. Se define como un tipo particular de terminal (es una entidad que posee una dirección), y es necesario solo si en la comunicación interviene un elemento que está en otro tipo de red, como por ejemplo la Red Telefónica Conmutada.

Entre los servicios que proporcionan los *Gateways*, el más común es la traducción entre formatos de transmisión y entre procedimientos de comunicación, pero también realiza traducción de los *codecs* de video y audio usados en ambas redes, procesando la configuración de la llamada y liberación de ambos lados de la comunicación.

⁵ Estándar creado por la ITU-T para la compresión de audio con frecuencias de la voz humana mediante modulación PCM. Para mayor información consultar <http://es.wikipedia.org/wiki/G.711>

En general, el propósito de una pasarela es reflejar las características del terminal que se encuentra ubicado en una red basada en conmutación de paquetes en el terminal de la red basada en conmutación de circuitos y viceversa. Para esto los gateways cuentan con las siguientes aplicaciones principales:

- Establecer enlaces con terminales telefónicos analógicos conectados a la BTN (Red de Telefonía Básica [*Basic Telephone Network*]).
- Establecer enlaces con terminales remotos que cumple H.320 (protocolo que define el estándar para videoconferencia sobre redes ISDN [*Integrated Services Digital Network*]) basadas en conmutación de circuitos.
- Establecer enlaces con terminales remotos que cumple H.324, protocolo que define el estándar para la videoconferencia sobre redes SCN [*Switched Circuit Network*].

1.6.1.3 *Gatekeepers*

Son un elemento opcional en la comunicación entre terminales H.323, sin embargo, son el elemento más importante de una red H.323. Actúan como punto central de todas las llamadas dentro de una zona y proporcionan servicios a los terminales registrados y control de las llamadas. De alguna forma, el Gatekeeper H.323 actúa como una central telefónica.

Los *gatekeepers* proporcionan dos importantes funciones de control de llamada:

- Traducción de direcciones desde alias de la red H.323 a direcciones IP.
- Gestión de ancho de banda, en tal sentido, si un administrador de red ha especificado un umbral para el número de conferencias simultáneas, el

Gatekeeper puede rechazar hacer más conexiones cuando se ha alcanzado dicho umbral. El efecto es limitar el ancho de banda total de las conferencias a alguna fracción del total existente para permitir que la capacidad remanente se use para e-mail, transferencias de archivos y otros protocolos.

Una característica opcional, pero valiosa de los gatekeepers es la habilidad para enrutar llamadas. Si se encamina la llamada por un Gatekeeper, esta puede ser controlada más efectivamente, es decir, se realiza la tarificación de la llamada, recopilando así una serie de datos útiles para la facturación y registro de las llamadas realizadas en la red. Este servicio también puede ser usado para re-enrutar una llamada a otro terminal en caso de no estar disponible el llamado. Además con esta característica un *Gatekeeper* puede tomar decisiones que involucren el balanceo entre varios gateways, en tal sentido, si una llamada es enrutada por un Gatekeeper, este puede re-enrutar la llamada a uno de varios gateways basándose en alguna lógica de enrutamiento preestablecida.

Los Gatekeepers juegan también un rol en las conexiones multipunto. Para soportar conferencias, los usuarios podrían hacer uso de estos para recibir las señales H.245⁶ desde dos terminales en una conferencia punto-punto. Cuando la conferencia cambia a multipunto, el *Gatekeeper* puede redireccionar el canal de control H.245 a un controlador multipunto, el MC. El *Gatekeeper* no necesita procesar la señalización H.245, solo necesita pasarla entre los terminales o entre los terminales y el MC.

⁶ H.245 es un protocolo del canal de control utilizado en las sesiones de comunicación H.323 e involucra las líneas de transmisión de señales no telefónicas.

Las redes que posean un *gateway* pueden también tener un *gatekeeper* para traducir llamadas entrantes E.164⁷ a direcciones de transporte. Debido a que una Zona está definida por su *gatekeeper*, las entidades H.323 que contengan un *gatekeeper* interno necesitan de un mecanismo para desactivar su funcionamiento cuando existen otras que contienen un *gatekeeper* dentro de la red, las entidades pueden ser configuradas para estar en la misma zona.

1.6.1.4 Unidades de Control Multipunto (MCU)

Es el responsable de la gestión de conferencias multipunto (dos o más puntos terminales participantes en una conferencia). Se compone de un Controlador Multipunto (MC) y opcionalmente uno o más Procesadores Multipunto (MP).

El MC es el encargado de gestionar la señalización H.245 entre todos los terminales para determinar las capacidades comunes necesarias para el procesado de audio y video, las cuales son enviadas a todos los extremos en la conferencia indicando los modos en los que pueden transmitir. De la misma manera controla los recursos de la conferencia para determinar cuales de los flujos, si hay alguno, serán multicast. El MC no trata directamente con ningún flujo de datos, audio o video. Esto se lo deja al MP, el cual conmuta y procesa audio, video o bits de datos. El MP recibe estos flujos desde los extremos, los cuales pueden estar involucrados en una conferencia centralizada, descentralizada o híbrida. El MP procesa esos flujos y los devuelve a los extremos.

⁷ Recomendación ITU-T que define el plan de numeración de telefonía pública internacional

Las aplicaciones del MC y MP pueden estar implementadas en un componente dedicado o ser parte de otros componentes H.323, en concreto puede ser una MCU, parte de un Gatekeeper, parte de un Gateway o parte de un terminal.

1.6.2 Protocolo de Iniciación de Sesiones

Mejor conocido como SIP debido a sus siglas en ingles (*Session Initiation Protocol*) es un protocolo definido por el IETF en RFC 3261 con la intención de ser el estándar para la iniciación, modificación y finalización de sesiones interactivas de usuario donde intervienen elementos multimedia como la voz.

Este protocolo ha evolucionado, mediante la definición de nuevas funciones y servicios en forma de módulos complementarios basados en un núcleo de funciones básicas, flexibles y ampliables, hasta constituirse en el protocolo de señalización y control propuesto por el IETF (*Internet Engineering Task Force*) como base para los servicios de telefonía y comunicación multimedia en general en Internet.

Un objetivo de SIP fue aportar un conjunto de las funciones de procesamiento de llamadas y capacidades presentes en la PSTN, así implementó funciones típicas que permite un teléfono común como son: llamar a un número, provocar que un teléfono suene al ser llamado, escuchar la señal de tono o de ocupado.

La arquitectura del protocolo SIP, establece un modelo de sesiones descentralizado, es decir, no contempla la existencia de un registro central para los participantes en cada sesión, sino que éstos comparten el concepto de sesión simplemente como una abstracción en común.

Tanto la recomendación H.323 como el protocolo SIP definen mecanismos de señalización para establecer y terminar llamadas, así como otras funciones de control de conferencia, negociación de capacidades y servicios adicionales sobre redes de conmutación de paquetes. SIP se ha diseñado con la pretensión de que, desde la perspectiva de los estándares y prácticas habituales en Internet, presente las siguientes ventajas frente a H.323:

- Implementación más fácil de realizar y depurar.
- Mayor flexibilidad para incorporar nuevas funciones.
- Mayor integración con otras aplicaciones y servicios Internet.

Los dos tipos de elementos presentes en la arquitectura SIP son los agentes de usuario (UA [*User Agent*]) y los servidores.

Los UA se componen de dos elementos: los agentes de usuario clientes (UAC [*User Agent Client*]) y los agentes de usuario servidores (UAS [*User Agent Server*]). Ambos se encuentran en todos los agentes de usuario, permitiendo la comunicación entre ellos mediante peticiones y respuestas de tipo cliente servidor. Los UAC tienen como misión el envío de peticiones SIP, mientras que los UAS están encargados de atender tales peticiones y remitir las correspondientes respuestas.

Las funciones básicas de los servidores SIP son la localización de usuarios y la resolución de nombres. Puesto que generalmente los agentes de usuario clientes no conocen la dirección IP del destinatario de una llamada, sino su nombre de usuario o un número de teléfono al que habrá que acceder a través de un *gateway*, necesitan enviar en primer lugar un mensaje de invitación al servidor correspondiente al nombre o número para que localice al destinatario. El servidor puede conocer la dirección del destinatario o recurrir a otros servidores para continuar la búsqueda. Cuando las llamadas se redirigen, la ruta seguida se registra en los mensajes SIP, de

modo que a la hora de generar respuestas se pueda conocer el camino de retorno hasta el origen del mensaje inicial.

Los servidores SIP actúan generalmente como varios tipos de servidores de forma simultánea. Gracias a una infraestructura de servidores SIP, es posible gestionar las llamadas de forma distribuida entre equipos personales, equipos de proveedores de servicios y pasarelas corporativas, con la consiguiente flexibilidad y control por parte del usuario. Asimismo, un mensaje SIP puede pasar por un número indeterminado de servidores desde que un agente de usuario cliente lo envía hasta que llega al agente de usuario servidor destinatario. Los servidores SIP pueden ser de tres tipos no excluyentes:

Servidores de registro: El uso más común de estos servidores es registrar un dispositivo después de su arranque, de modo que cuando lleguen invitaciones destinadas a él, los servidores SIP puedan proporcionar su dirección. Se contempla la existencia de un tiempo máximo de validez de cada registro, definible por el servidor, tras el cual se debe renovar el registro. Asimismo, existen mecanismos para cancelar todos los registros contenidos en un servidor.

Proxys: Su función es similar a la de los *proxys* http, este recibe solicitudes y decide a qué otro servidor se deben remitir, alterando además algunos campos de la solicitud. Por tanto, actúan como intermediarios en las transacciones que procesan. Normalmente, los *proxys* realizan funciones de servidores de registro para todos los dispositivos representados por ellos. Los *proxys* también son útiles como representantes de salida/entrada de redes corporativas, proporcionando servicios de búsqueda de direcciones, control de *firewall* y gestión de normas de administración corporativa. De la misma manera, pueden cumplir funciones de salida a pasarelas para redes telefónicas tradicionales.

Servidores de redirección: A diferencia de los *proxys*, no inician transacciones, sino que, cuando reciben solicitudes desde un agente de usuario cliente, remiten al mismo agente un mensaje indicando el o los servidores con los que debe ponerse en contacto. Asimismo, a diferencia de los UAS, no aceptan llamadas.

CAPÍTULO II

RED DE COMUNICACIONES DE LA ELECTRICIDAD DE CARACAS C.A.

2.1 Descripción de la Empresa

2.1.1 Historia

A finales del siglo XIX (1895), pocos años después de que Tomás Edison inventó la bombilla eléctrica, fue fundada La Electricidad de Caracas C.A., por iniciativa del entonces joven Ingeniero Ricardo Zuloaga, quien construyó en una finca de su propiedad llamada El Encantado, la primera planta hidroeléctrica, aprovechando las aguas del río Guaire. Esta planta comienza a operar dos años más tarde, en noviembre de 1897. Esto fue un acontecimiento y tuvo gran trascendencia, pues era la primera estación hidroeléctrica en Latinoamérica y una de las primeras del mundo.

La capacidad de la Planta "El Encantado" (420kW), sólo permitía la iluminación de unas cuantas calles del centro de la ciudad, edificios públicos más importantes y el funcionamiento de algunas industrias. Por ello, años más tarde se precisa ampliar la capacidad de generación. Así en 1902, se instala una nueva planta en Los Naranjos, con una capacidad de generación de 1.300 kW y en 1909 se instala La Lira, para atender la demanda de los tranvías y otras industrias.

El crecimiento veloz de la ciudad tanto demográfico como económico, fue

obligando a La Electricidad de Caracas C.A. a atender una demanda cada vez mayor. Así, después de estar operando estas plantas por algunos años, la empresa tuvo una significativa expansión.

Dicha expansión por los siguientes 20 años, se hizo fundamentalmente sobre la base del aprovechamiento de la energía hidroeléctrica y se comenzó a operar con el sistema de motores DIESEL. En 1925 entra en funcionamiento la Planta "Ricardo Zuloaga", la cual más adelante amplía su capacidad de generación utilizando el sistema termoeléctrico. Paralelamente, de 1916 a 1931 hay una expansión hidroeléctrica importante entrando en funcionamiento varias plantas pequeñas entre Mamo, Caoma y Marapa (hoy día en desuso) y se adquiere la Planta de Naiguatá, la cual estuvo funcionando con una capacidad de 3.775 kW hasta diciembre de 1999, siendo destruida por el desastre natural ocurrido en el estado Vargas en esa fecha.

Después, entre los años 50 y 70, se construyen las Plantas de Arrecifes (1950), Tocoa (1956), El Convento (1958) y O.A.M. (1969). Más recientemente, entre los años 1979 y 1981 se instalaron tres nuevas unidades de generación termoeléctrica con una capacidad de 400 kWh c/u. Estas unidades, conjuntamente con las plantas de Arrecifes y Tocoa, conocidas bajo el nombre de "Conjunto Generador Ricardo Zuloaga" con la amplia capacidad de 1.715.000 kWh, para atender la creciente demanda de clientes de Caracas.

El capital inicial de la empresa fue de Bs. 500.000,00; suscrito por 24 accionistas. La capacidad de generación de la planta era de 420 KW para una demanda de 201 kWh. En ese entonces, Caracas era una ciudad de 72.500 habitantes y los clientes de La Electricidad de Caracas C.A. llegaban apenas a unos 150.

Hoy en día La Electricidad de Caracas C.A. es una filial de Corporación AES y una de las principales empresas privadas del país, cuenta con un capital pagado de Bs. 28 mil millones, con 38 mil accionistas, de los cuales gran parte son sus propios trabajadores y familiares. Posee, consolidando los datos de las empresas filiales, una capacidad de generación de 2.005.910 kW y una demanda de 1.711.000 kW. De la pequeña ciudad de 72.500 habitantes, hoy ha pasado a atender a una población de aproximadamente 5 millones de habitantes, con una cantidad de suscriptores de 925.000.

Es importante señalar, que en el año 1968 la empresa suscribió un contrato con las Compañías EDELCA y CADAFE para interconectar su sistema con las plantas y líneas de dichas empresas. Este sistema ha permitido y permitirá en el futuro, garantizar la seguridad y calidad del servicio, así como el mejor aprovechamiento de las fuentes energéticas del país.

La participación de La Electricidad de Caracas C.A. en el sector eléctrico nacional es importante. En términos relativos, esta empresa es un componente esencial dentro del sistema eléctrico nacional, ya que atiende hoy en día, en conjunto con sus empresas filiales, al 27% de la población, y sus ventas alcanzan el 18% del total nacional.

Este servicio es prestado en la zona metropolitana de Caracas y en zonas foraneas como Los Teques, Guarenas, Guatire, a través de las filiales C.A. Luz Eléctrica de Venezuela y C.A. La Electricidad de Guarenas y Guatire. También ofrece el servicio eléctrico a la ciudad de San Felipe, Estado Yaracuy a través de la C.A. Luz Eléctrica del Yaracuy.

2.1.2 Misión

La Electricidad de Caracas es una empresa privada, filial de la Corporación AES, dedicada a proveer el mejor servicio eléctrico y comprometida a responder las expectativas de sus clientes, trabajadores y accionistas, contribuyendo así a elevar la calidad de vida de la sociedad venezolana.

2.1.3 Visión

Ser una empresa reconocida nacional e internacionalmente como líder innovador, proveedora de un servicio eléctrico de alta calidad, con personal y tecnologías excelentes, financieramente sólida y factor fundamental del sector eléctrico venezolano.

2.1.4 Valores

- Seguridad. La seguridad siempre debe estar primero, para los empleados, los contratistas y las comunidades.
- Integridad. Ser honestos, dignos de confianza y responsables. La Integridad es la esencia en todo lo que hace la empresa.
- Honor. Honra los compromisos con sus clientes, compañeros, comunidades, accionistas, proveedores y socios. El negocio, en general, debe ser una contribución positiva a la sociedad.
- Excelencia. La empresa se esfuerza para ser la mejor en todo lo que hace y para operar con niveles de clase mundial.
- Disfrute. El trabajo puede ser divertido, gratificante y emocionante.

2.1.4 Tecnología

Para una eficiente prestación del servicio eléctrico la Electricidad de Caracas cuenta con una amplia plataforma tecnológica en el área de las telecomunicaciones. Debido a la necesidad de mantener el control de los servicios integrados de transporte y gestión de información que dicha plataforma brinda, se crea la Gerencia de Telecomunicaciones dentro de la Empresa. Este departamento se encuentra dividido estratégicamente en coordinaciones, lo que permite un mejor conocimiento de los sistemas y una mayor capacidad de respuesta en cuanto a los requerimientos que se presentan interna y externamente. La Gerencia de Telecomunicaciones está conformada por un grupo de analistas, todos profesionales del área, con la capacidad y conocimiento necesario para atender y resolver las necesidades de los clientes, relacionadas con toda la infraestructura de Tecnología de Información y Telecomunicaciones.

Dentro de la Gerencia de Telecomunicaciones se encuentran las siguientes coordinaciones: *Internetworking*, Transmisión de Voz y Datos, Telefonía y Proyectos de Fibra Óptica.

La Coordinación de *Internetworking* está encargada de la administración y mantenimiento de la red Ethernet de La Electricidad de Caracas C.A. En la actualidad, esta Coordinación tiene una importante tarea en cuanto al diseño y reestructuración de redes en las que se implementen las nuevas tecnologías emergentes como es el caso de Voz sobre IP.

Por otra parte, la Coordinación de Transmisión de Voz y Datos es aquella que brinda los medios a través de los cuales se distribuye la información a nivel de planta externa, así como también el mantenimiento de los mismos y la implantación de nuevos canales en caso de que estos sean necesarios. A nivel de planta interna esta

tarea le corresponde a la Coordinación de Telefonía la cual, asigna las extensiones telefónicas necesarias.

Para transmitir grandes cantidades de información a altas velocidades entre puntos distantes, La Electricidad de Caracas C.A. cuenta una red de fibra óptica distribuida en el área metropolitana. La coordinación de Proyectos de Fibra Óptica esta encargada de la instalación y mantenimiento de todo lo referente a esta red.

Estas unidades trabajan de manera conjunta en el análisis, diseño, implementación y prueba de nuevos proyectos innovadores que brindan una oportunidad de crecimiento para la empresa.

Actualmente, la Gerencia de Telecomunicaciones dispone de un numeroso grupo de Ingenieros, Tecnólogos, Técnicos y demás personal capacitado para atender día a día los retos que se le presentan. Además del valioso personal, la Gerencia cuenta también con una gran plataforma constituida principalmente por redes de cobre, fibra óptica y sistemas de microondas; las cuales se encuentran constantemente en supervisión y mantenimiento por parte del grupo de trabajo, para así lograr la confiabilidad de servicio que caracteriza a la Gerencia.

2.2 Red Telefónica

La Electricidad de Caracas C.A. para poder ofrecer un buen servicio telefónico interno, abaratar costos y evitar la dependencia de terceros, desarrolló su propia red telefónica, la cual esta conformada por 11 centrales telefónicas, con un total de 4256 extensiones instaladas, de las cuales 3286 son analógicas, 840 son digitales y 130 son IP, dicho sistema posee una capacidad de crecimiento de hasta

6395 extensiones. La topología de la red telefónica es en estrella y las centrales se encuentran distribuidas de la siguiente manera:

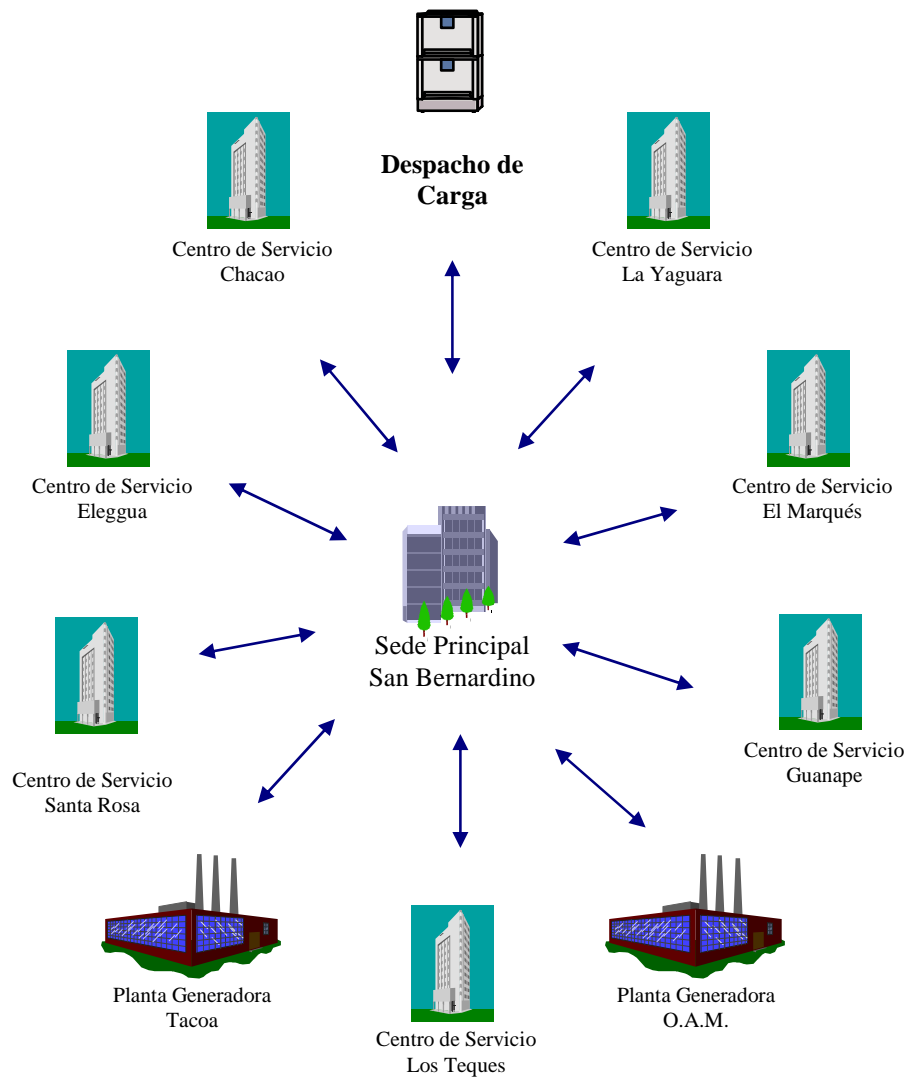


Figura 2.1 Red telefónica de La Electricidad de Caracas C.A.

Como se puede observar existen:

- 8 Centrales marca Ericsson modelo MD110 ubicadas cada una en un centro de servicio (incluyendo la sede principal), ya que estas son las sucursales donde labora el personal de La Electricidad de Caracas C.A., y por lo tanto, existe un gran flujo de llamadas internas que requieren de un sistema de control y supervisión.
- 2 Centrales telefónicas ubicadas cada una en las plantas generadoras de Tocoa (marca AT&T, modelo Definity) y O.A.M (marca NEC, modelo SDS) en las que también se produce un flujo considerable de llamadas internas debido al tipo de actividades que allí se realizan y al número de empleados que laboran en este recinto.
- Adicionalmente existe una central telefónica marca Ericsson, modelo MD110 resguardada por la coordinación de Despacho de Carga. Este grupo tiene entre sus funciones, la responsabilidad de supervisar el acceso a las subestaciones eléctricas, esto aunado a normativas de seguridad crea la necesidad de tener una central telefónica dedicada únicamente a gestionar las llamadas que se realizan entre, desde y hacia las subestaciones.

En la figura 2.1 se aprecia que el nodo principal se encuentra ubicado en la sede San Bernardino, por lo tanto este es el encargado de interconectar las llamadas que se realizan entre los diferentes centros de servicios, subestaciones y plantas generadoras. Esta PBX (*Private Business eXchange*) posee 10 E1s conectados cada uno contra las diferentes centrales telefónicas de La Electricidad de Caracas C.A., además posee 3 E1s regidos por la normativa G.703 suministrados por CANTV dedicados a la conexión con la red pública. Este nodo cuenta con 133 troncales (líneas analógicas proporcionadas por CANTV conectadas a la central telefónica), las

cuales son utilizadas para prestar servicio telefónico de respaldo a personal directivo o grupos estratégicos y otras para los casos en los que el número de llamadas entrantes o salientes a la PSTN superan al número de canales dispuestos para tal fin.

Para el caso de los Centros de Servicio Eleggua, Chacao, La Yaguara, El Marqués y la planta de generación Tocoa, la conexión contra la sede San Bernardino se realiza mediante 1 E1, ofreciendo así la posibilidad de 30 llamadas simultaneas con otros centros. De la misma manera poseen 1 E1 contra CANTV, el cual provee el acceso a la red pública. Adicionalmente, a manera de respaldo, cada centro de servicio y la planta generadora cuenta con 2 troncales, que en caso de falla o saturación del E1 de CANTV, todas las llamadas salientes son enviadas por dichas troncales.

El CIAT (Centro Integral de Atención Telefónica) se encuentra ubicado en el centro de servicio Santa Rosa y es el primer sistema telefónico IP instalado en la Electricidad de Caracas C.A. Dicho centro está dotado con la solución Cisco denominada Call Manager en su versión 4.1 alojado en tres servidores modo cluster, el cual provee de servicio telefónico a 70 operadores equipados con Softphone⁸. La conexión al Core en San Bernardino se realiza a través de 2 Gigabit Ethernet (fibra óptica), mientras que el enlace con la red pública se realiza mediante 4 E1s entrantes y 1 E1 saliente. De la misma manera, este centro cuenta con un desborde⁹ programado por troncales analógicas de CANTV. En la figura 2.2 se puede observar el diagrama de conexión.

⁸ Software que simula un teléfono convencional en un computador, permitiendo la realización de llamadas a otros softphones, teléfonos IP o teléfonos convencionales.

⁹ Encaminamiento alternativo del tráfico telefónico que se origina al no haber disponibilidad de realizar una llamada por los medio habituales.

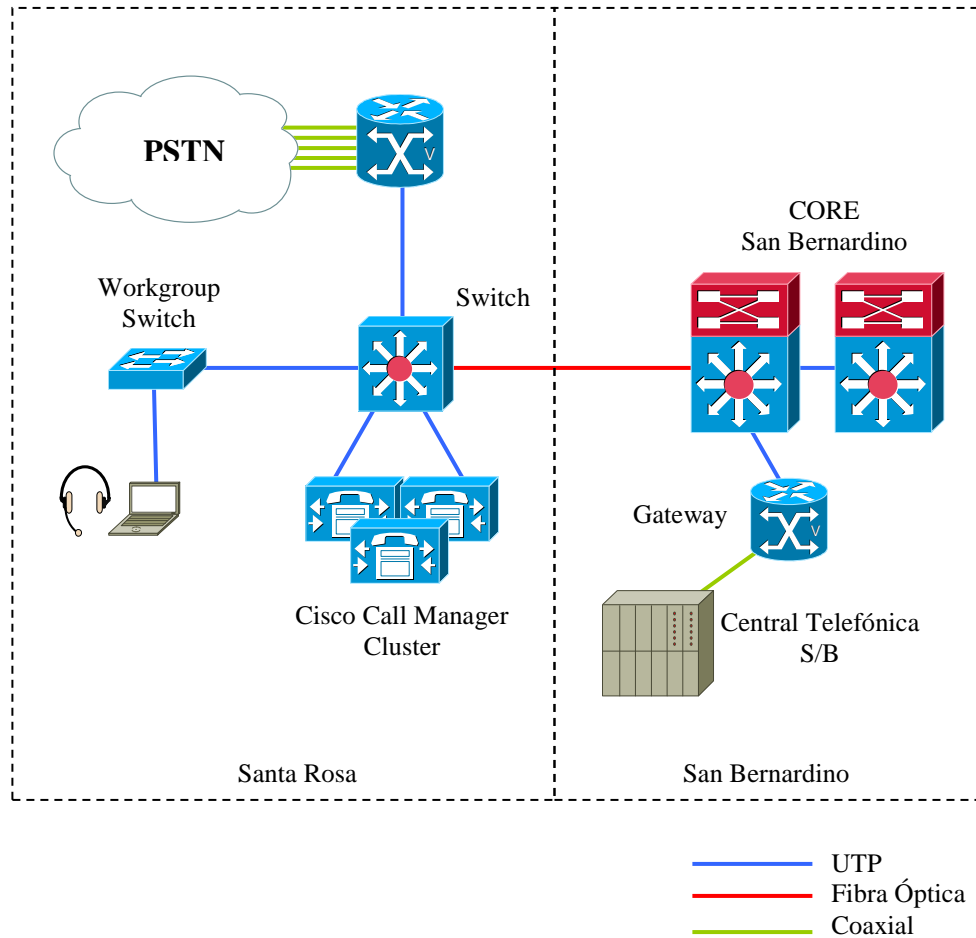


Figura 2.2 Configuración del sistema de telefonía IP del CIAT

Los Centros de Servicio Guanape y Los Teques poseen un bajo flujo de llamadas salientes, por esta razón se decidió interconectarlos con la sede San Bernardino mediante 1 E1 configurado para dedicar 15 canales a llamadas entre centrales telefónicas de la Electricidad de Caracas C.A. y los 15 canales restantes dedicados a llamadas dirigidas a la red pública, pero en este caso, estas llamadas salen por los E1s de CANTV conectados al nodo principal ubicado en la sede San Bernardino. Estos centros de servicio, a pesar de no poseer E1s directos con la red pública, cuentan con un sistema de respaldo basado en troncales proporcionadas por CANTV.

El sistema telefónico de la planta de generación O.A.M. está estructurado de la misma manera que los centros de servicio Guanape y Los Teques, pero a diferencia de estos, no posee enlaces E1 directos a la red pública dado que las operadoras telefónicas no ofrecen este servicio en la zona, por esto las troncales utilizadas como sistema de respaldo son proporcionadas de manera inalámbrica por Movistar.

La central telefónica del Despacho de Carga está interconectada con la de la sede principal mediante 1 enlace E1. Por razones de seguridad no se permite el discado entrante y saliente a la red pública, lo que se traduce en la ausencia de E1s conectados directamente a la PSTN. Las llamadas que requieran salida a dicha red (previa autorización de personal de Despacho de Carga) son encaminadas a través de los E1s que tiene conectado el nodo principal contra la red pública. Al igual que las otras centrales telefónicas, esta posee dos troncales suministradas por CANTV para permitir la comunicación de los operadores con la PSTN en casos de falla de la central telefónica de San Bernardino.

Adicionalmente se encuentra instalado y en período de prueba un sistema de telefonía IP corporativa basado en la solución IP Cisco Call Manager versión 4.1, instalada en dos servidores modo cluster modelo MCS 7835, proporcionando una capacidad de 2500 extensiones telefónicas IP con su respectivo respaldo. Este sistema es la base para la migración del sistema telefónico corporativo actual al sistema telefónico IP, se encuentra conectado con el nodo principal mediante un E1 y las llamadas que requieran salida a la PSTN se interconectan mediante los E1s proporcionados por CANTV al nodo principal ubicado en San Bernardino. Actualmente se presta el servicio a 10 teléfonos IP pertenecientes al personal encargado de la realización de pruebas y gestión del sistema; además de una prueba piloto de aproximadamente 50 *Softphones* instalados en equipos portátiles pertenecientes al personal ejecutivo de la empresa. El diagrama de la conexión del

Call Manager se puede apreciar en la figura 2.2.

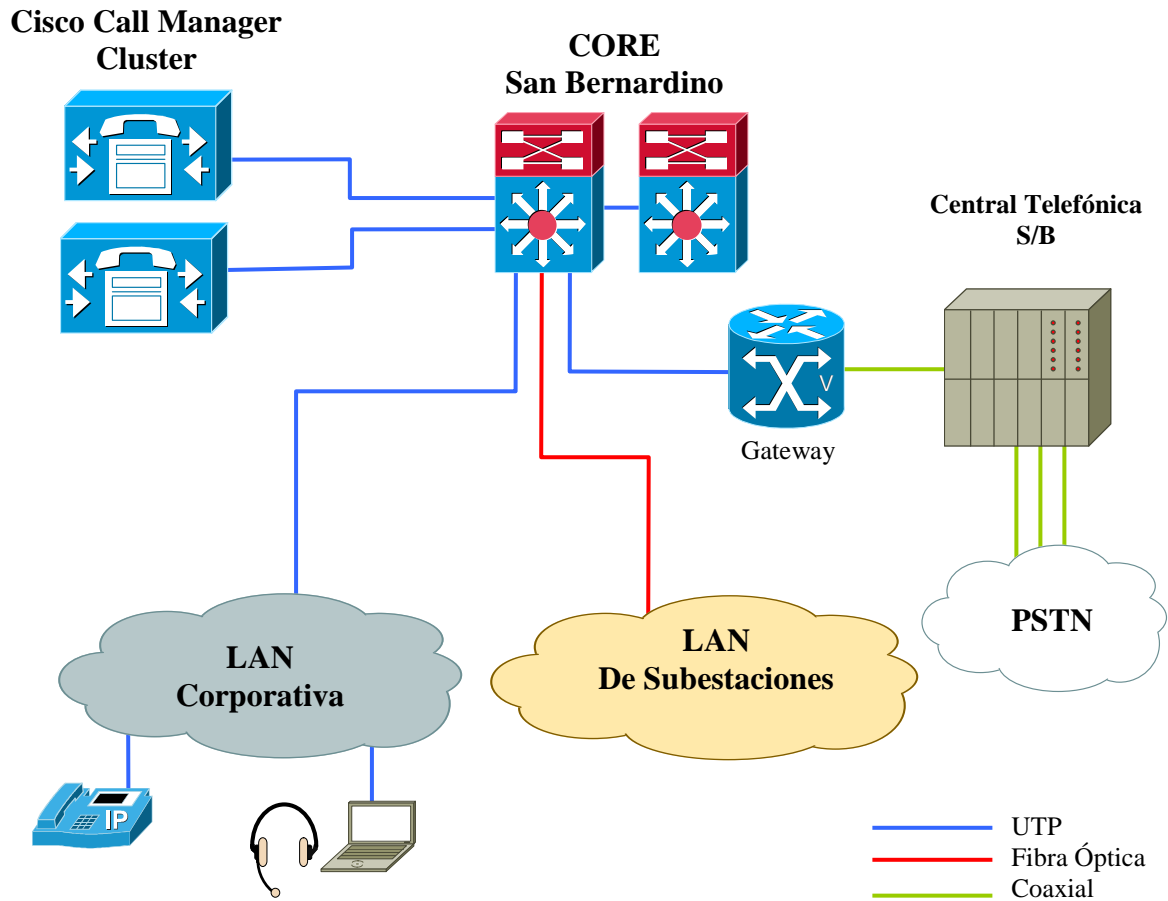


Figura 2.3 Configuración del sistema de telefonía IP corporativo

De esta manera La Electricidad de Caracas C.A. ofrece el servicio telefónico a todos sus centros de servicio, agencias comerciales, subestaciones y plantas generadoras, proporcionándoles parte de la infraestructura requerida por los empleados para cumplir sus labores en la empresa.

2.2.1 Red Telefónica de Subestaciones

La Electricidad de Caracas C.A. presta el servicio de distribución de energía eléctrica mediante 29 subestaciones de transmisión y 93 subestaciones de distribución. Es normativa de la empresa (Norma 20) que todo aquel empleado que entre en una subestación se reporte al Despacho de Carga indicando las actividades a realizar, esto con la finalidad de llevar un registro de los eventos que se están dando a lugar en las subestaciones y poder coordinar la realización de diferentes actividades en conjunto. Por esta razón se crea la necesidad de proporcionar una extensión telefónica a cada subestación, además de contar con la posibilidad de comunicación con cualquier extensión de la empresa para poder coordinar actividades y solicitar información necesaria en las labores de campo.

Como la Coordinación de Despacho de Carga es la encargada de supervisar el acceso a las subestaciones eléctricas, recae sobre ella el control del sistema telefónico de estas, razón por la cual se estructuró dicha red para que todas las extensiones se conectaran a una central con accesos restringidos y controlados por esta coordinación.

2.2.1.1 Sistema de Comunicaciones MD110 Versión BC 9

La red telefónica de subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A. está soportada en el sistema de comunicaciones Ericsson MD110 versión BC9, el cual es un equipo de conmutación de voz de arquitectura modular, escalable y con múltiples opciones de conectividad, entre las que destacan líneas de extensiones digitales y analógicas, líneas analógicas de intercambio PSTN, E&M (*Ear and Mouth*), APNSS (*Analog Private Network Signaling System*) y líneas digitales de intercambio PSTN, CAS (*Channel Associated Signaling*), DPNSS (*Digital Private Network Signaling System*). Este sistema ofrece todas las bondades típicas de una PBX como lo son

llamada en espera, conferencia, retorno y redireccionamiento de llamadas, así como también capacidad de migración a nuevas tecnologías convergentes.

2.2.1.2 Diseño de la Red Telefónica de Subestaciones

Actualmente las extensiones telefónicas asociadas a la central de Despacho de Carga viajan a través de diferentes tipos de redes (ver Anexo 1), en todos los casos existe un tramo de la ruta que pasa por la red de cobre, pero existen subestaciones que por su localización es más conveniente el establecimiento de gran parte de la ruta haciendo uso de la red de fibra óptica o la red de microondas.

La central telefónica del Despacho de Carga tiene una capacidad instalada para 168 extensiones, con facilidades de ampliación de hasta 250. Posee asignada dentro del sistema telefónico interno la numeración comprendida entre los números 7500 y 7699, lo que genera un total de 200 números disponibles para las subestaciones. Adicionalmente existen 21 subestaciones y 3 salas de microondas foráneas que poseen numeración distinta, pertenecientes a otras centrales telefónicas, esto se debe a que al estar ubicadas a gran distancia de la central de Despacho de Carga es más fácil conectarlas a otra más cercana y direccionarlas a través de la conexión existente con el nodo principal ubicado en San Bernardino.

En la tabla 2.1 se puede apreciar la distribución de las extensiones telefónicas instaladas al 16 de Enero de 2007, indicando cuales de ellas son digitales y cuales son analógicas.

Como se puede observar, la central posee en su totalidad 118 extensiones instaladas, con una capacidad de crecimiento de 58 para prestar servicio a futuras subestaciones, lo que representa una capacidad de escalabilidad razonable debido al

poco ingreso de nuevas subestaciones eléctricas al sistema de La Electricidad de Caracas C.A., en tal sentido cuenta con suficientes extensiones de voz para prestar servicio a las actuales y futuras subestaciones de la empresa.

Tabla 2.1 Configuración de la central telefónica del Despacho de Carga.

Tipo de Usuario	Tipo de Extensión	N° de Extensiones
Subestaciones	Analógica	98
Sistema Interconectado EDC - EDELCA	Analógica	2
Salas de Microondas	Analógica	3
Consolas del Despacho de Carga	Digitales	4
Auxiliares del Despacho de Carga	Analógica	4
Personal Operativo	Analógica	3
Personal Directivo	Analógica	4
Total	Analógica	118

2.2.1.3 Tráfico Telefónico Actual de la Central de Despacho de Carga

La central telefónica que actualmente se encuentra instalada para servir a las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A. fue dimensionada al momento de su instalación (1991), y hasta la fecha no ha sido necesario un estudio para redimensionar el sistema debido al poco flujo de llamadas y al poco crecimiento del número de subestaciones que requieren de extensión telefónica, solo se han realizado actualizaciones a nivel de software para disponer de los nuevos servicios que constantemente ofrece el proveedor del equipo.

El sistema de comunicaciones MD110 del Despacho de Carga se encuentra instalado de forma tal que permite un número máximo de 30 llamadas internas, al

igual que su conexión al nodo principal ubicado en San Bernardino, la cual está realizada a través de un enlace E1, en tal sentido, permite un máximo de 30 llamadas simultaneas entre las subestaciones y cualquier otra sede de la empresa.

Estos datos no son suficientes para dimensionar un sistema telefónico nuevo, razón por la cual es necesario conocer la intensidad de tráfico que puede manejar la central telefónica, es por esto que se debe hallar un valor que represente el tráfico que se cursa por unidad de tiempo. La unidad de tráfico será el Erlang y es comúnmente representado con la letra A.

Este valor A se rige por la ecuación (1)

$$A = \frac{N^{\circ}u \cdot N^{\circ}hp \cdot Tpll(seg)}{3600} \quad (1)$$

Donde:

A = Intensidad de tráfico Erlang.

$N^{\circ}u$ = Número de usuarios.

$N^{\circ}hp$ = Número de llamadas en hora pico (por usuario).

$Tpll$ = Duración promedio de las llamadas (en segundos).

Esta ecuación es útil al momento de dimensionar un sistema, teniendo como requisito la estimación del número de llamadas en hora pico y la duración promedio de estas. En este caso la central telefónica ya esta dimensionada y se conoce el número de canales disponibles para cursar el tráfico interno y externo, por lo tanto, si

se desea conocer el tráfico ofrecido se debe hacer uso de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{A^N / N!}{\sum_{j=0}^N A^j / j!} \quad (2)$$

Donde:

A = Grado de servicio (%).

N = N° de Órganos o enlaces disponibles.

A = Tráfico ofrecido en Erlang.

Haciendo uso de la ecuación de Erlang (2) y tomando para el grado de servicio el valor de 0.01 [9] se hallaron los valores $A_1=20.3$ y $A_2=20.3$, representando la intensidad de tráfico actual de llamadas entre la central del Despacho de Carga y el nodo principal en San Bernardino, y el tráfico de llamadas entre las subestaciones.

Para este cálculo se utilizó el programa Erlang Calculator (ver figura 2.2) disponible en www.erlang.com/calculator/erl, el cual requiere como datos de entrada el tráfico en hora pico expresado en Erlangs y el grado de servicio expresado en un número del 0 al 1.

Este programa basa sus cálculos en la recomendación ITU-T E.520, haciendo uso de la ecuación (2) desarrollada por Agner Krarup Erlang (1878-1929), la cual asume que las llamadas bloqueadas son eliminadas y el número de fuentes de llamadas es infinita.

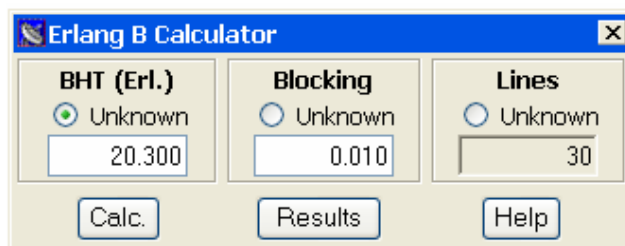


Figura 2.4 Programa utilizado para el cálculo de la intensidad de tráfico.

Tabla 2.2 Valores utilizados para el cálculo de la intensidad de tráfico.

Tráfico	Datos Introducidos		Datos Obtenidos
	Lines	Blocking	BHT
Entre Subestaciones	30	0.01	20.3
Entre Central DC y nodo principal	30	0.01	20.3

Como se puede observar, la central fue dimensionada para soportar un tráfico de 20.3 Erlang, esto significa que si la central telefónica posee 118 extensiones instaladas y operativas la red está dimensionada suponiendo un tráfico de 0.17 Erlang por cada una de las extensiones, esto supone una ocupación promedio de 10.32 minutos por hora en todas las 118 extensiones. Tomando en cuenta que el uso del teléfono de la subestación es únicamente para que los operadores se reporten al Despacho de Carga y/o coordinen operaciones con personal ubicado en otras áreas de la empresa (en caso de falla o actividades programadas), la asunción de 10.32 minutos por hora promedio de ocupación en todas las subestaciones es muy buena.

2.3 Red de Datos para el Proyecto de Telefonía IP en las Subestaciones

El servicio de transmisión de datos que actualmente proporciona La Electricidad de Caracas C.A. a las subestaciones se basa en canales dedicados punto a punto con una velocidad de 64Kbps, esto con la finalidad de darle conectividad a las RTUs y a los sistemas de protecciones. Esta estructura al no ser una red de conmutación de paquetes no es apta para la implantación de telefonía IP, además de no ser un sistema único que permita gestión y tarificación de las extensiones de todas las subestaciones.

Esta es la principal razón por la que la gerencia de telecomunicaciones dio inicio al proyecto LAN de Subestaciones, mediante el cual se interconectarán (al finalizar sus primeras tres fases) 58 subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A.

La interconexión de las subestaciones es realizada a través de una red Metro Ethernet con topología tipo anillo (ver anexo 2), conformada por un núcleo (*Core*) ubicado en San Bernardino, siete nodos principales ubicados en La Yaguara, San Bernardino, Santa Rosa, El Marqués, La Pedrera I, La Pedrera II, Guanape y 52 nodos secundarios ubicados en diferentes subestaciones de la Electricidad de Caracas C.A.

Como se puede observar en el anexo 2, la red está compuesta por cuatro anillos, tres ubicados en la zona metropolitana y uno en el litoral central, con dos nodos principales por cada anillo (exceptuando el del litoral central) conectados al núcleo, este último está equipado con su respectivo respaldo para garantizar la operatividad de la red y aumentar la confiabilidad del sistema. Cada anillo tiene configurado tres VLAN (*Virtual Local Area Network*), la primera para canalizar todos los servicios de transmisión de datos de las subestaciones, la segunda servirá como plataforma para el sistema de telefonía IP a implantar y la tercera es para la

comunicación exclusiva de las remotas con su sistema de gestión SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

El proyecto LAN de subestaciones se encuentra en desarrollo y actualmente se ha culminado la fase 1, logrando instalar el Core, los siete nodos principales, 21 subestaciones de la zona metropolitana y 6 subestaciones foráneas ubicadas en el Litoral Central. El medio de transmisión utilizado fue la fibra óptica y debido a la Política de Tecnología de Información, Estándares y Prácticas de Seguridad General de la corporación AES, todo el equipamiento instalado es marca Cisco, utilizando switches modelo Catalyst 6509 para el Core, Switches Catalyst 4506 para los nodos principales y Switches Catalyst 2955 para los nodos secundarios, los últimos, según convenio con el proveedor, serán substituidos por Switches Catalyst 2960 en el 2007. Proporcionando una velocidad de transmisión de datos de 1Gbps en los tres anillos.

Con este proyecto se pretende integrar en una sola red todos los servicios de comunicación que actualmente poseen las subestaciones, con la finalidad de poseer un sistema de gestión único que disminuya los costos de mantenimiento y reduzca los tiempos de resolución de fallas mejorando la calidad del servicio, así como también tener una red capaz de soportar nuevas aplicaciones, servicios y productos como por ejemplo la transmisión de video en tiempo real.

CAPÍTULO III

SOLUCIONES DE TELEFONIA IP

Antes de seleccionar una solución de telefonía IP para las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A., es necesario conocer cual es el requerimiento de la empresa, esto con la finalidad de ofrecer no solo una tecnología innovadora que represente un ahorro económico, sino también entender cuales son las necesidades y políticas empresariales para poder ofrecer una solución idónea.

3.1 Requerimiento de La Electricidad de Caracas C.A.

Como se explicó en el capítulo II, la intención de La Electricidad de Caracas C.A. es prestar el servicio de telefonía a todas las subestaciones eléctricas mediante extensiones telefónicas dependientes de una sola central ubicada en las instalaciones del grupo Despacho de Carga. Este objetivo no se ha podido cumplir, ya que existen 21 subestaciones y 3 salas de microondas ubicadas en zonas foráneas que dependen de otras centrales telefónicas, además, la Gerencia de Telecomunicaciones de La Electricidad de Caracas C. A. está llevando a cabo diversos proyectos con la finalidad de actualizar la plataforma tecnológica en el área de comunicaciones, mejorando la calidad de los servicios prestados. Por esta razón se plantea la migración del sistema telefónico de subestaciones actual a telefonía IP, haciendo uso de la red Metro Ethernet proporcionada por el proyecto LAN de Subestaciones.

La Electricidad de Caracas C.A., al ser una empresa filial de AES Corporation, debe regirse por sus normas, entre las que se encuentra *Information*

Technology Policy, Standards and General Security Practices (Política de Tecnología de Información, Estándares y Prácticas de Seguridad General), en la que se estipula que toda la plataforma de red global debe ser instalada con productos marca Cisco.

Tomando en cuenta esto, la empresa requiere una solución de telefonía IP Cisco basada en protocolo SCCP (*Skinny Client Control Protocol*) que soporte el mismo volumen de tráfico que el sistema actual. Esta solución debe ser implantada mediante un sistema que admita una migración escalable, en tal sentido, debe permitir el funcionamiento simultáneo de la central telefónica actual y la solución IP para garantizar la prestación del servicio durante el desarrollo del proyecto LAN de Subestaciones.

3.2 Características que Garantizan la Factibilidad de la Solución IP

La principal finalidad de este estudio de factibilidad es garantizar el correcto funcionamiento de la solución IP a implantar, para lograr este objetivo es importante definir y analizar las características que necesariamente debe cumplir la red IP que soportará las transmisiones de voz.

3.2.1 Interoperabilidad

Debido a las características del proyecto, es de vital importancia la interoperabilidad del sistema con el sistema de comunicaciones actual, ya que es requisito mantener las dos plataformas operativas hasta que todas las subestaciones posean conectividad a la red Metro Ethernet y su sistema telefónico sea migrado a IP.

Para esto las centrales telefónicas Ericsson MD110 versión BC9 cuentan con

interfaz para conexión de líneas de intercambio analógicas PSTN y APNSS, DID (*Direct Inward Dial*) analógico PSTN, línea de interconexión continua y discontinua mediante E&M, líneas de interconexión digital PSTN, CAS y DPNSS. En tal sentido, el sistema telefónico actual admite diferentes tipos de señalización para realizar el intercambio de datos con otro equipo.

Como se puede observar, el sistema de comunicación MD110 versión BC9 no soporta estándares VoIP, esto crea la necesidad de incorporar en la red IP un *gateway* que sirva de interfaz entre el mundo IP y el de telefonía convencional.

Un ejemplo de esta interconexión es la existente entre el *core* de la red corporativa ubicado en San Bernardino y el nodo principal del sistema telefónico actual, dicha conexión se realizó mediante un *gateway* contenido en un *Communication Media Module*, esta tarjeta proporciona seis EIs, de los cuales solo uno se encuentra conectado a la MD110 mediante una tarjeta TLU 76/3 (interfaz Digital PSTN).

3.2.2 Ancho de Banda

Para la implantación de un sistema de telefonía IP es importante tomar en cuenta el ancho de banda a ser utilizado. Debido a que este factor se ve afectado principalmente por el algoritmo utilizado en la compresión del audio. La elección del *codec* de voz a utilizar debe ser estudiada cuidadosamente.

En la práctica es común reducir el ancho de banda sacrificando un poco la calidad del servicio. Esto con la finalidad de optimizar el uso de la red y evitar la congestión de la misma, ya que normalmente se tiene ancho de banda limitado y la

red es utilizada para transportar otros servicios como Internet y correo electrónico.

La red Metro Ethernet de La Electricidad de Caracas C.A. cuenta con políticas de calidad de servicio implementadas en los switches que permiten la configuración de diferentes VLANs, así como también, la reserva de ancho de banda necesario para cada una de ellas. Como se observa en el diagrama del Anexo 2, dentro del proyecto LAN de Subestaciones se encuentra estipulada la configuración de una VLAN dedicada al sistema telefónico IP.

Tomando en cuenta el hecho de que la red de datos de subestaciones ofrece un ancho de banda 1 Gbps para cada anillo y que el anillo más poblado consta de 20 nodos, se puede esperar que cada subestación disponga de un ancho de banda mayor a 50Mbps. Aunado a esto, se sabe que las subestaciones por lo general, no poseen más de 10 servicios de transmisión de datos, ocupando 64Kbps cada uno. En tal sentido se puede esperar que cada subestación disponga de un ancho de banda suficientemente grande para implantar telefonía IP y no desmejorar la calidad del servicio.

3.2.3 Calidad de Servicio (QoS)

Para lograr una implantación exitosa del sistema telefónico IP, el usuario final no debe percatarse del cambio, es decir, la calidad de servicio debe ser similar a la del sistema telefónico convencional. Para lograr esto hay que tomar en cuenta dos factores:

- La calidad de la voz extremo a extremo determinada por los sucesivos procesos de codificación, decodificación y pérdidas de paquetes en la red.
- La demora extremo a extremo debido a los sucesivos procesos de codificación, decodificación, paquetización y encolado. Afectando la

interactividad de la conversación.

La red Metro Ethernet de La Electricidad de Caracas C.A. está capacitada para proveer la red de transporte al sistema de telefonía IP. Todos los switches que la conforman son marca Cisco modelo Catalyst 2955 (serán sustituidos por 2960), 4506 y 6509, los cuales poseen puertos con velocidades de 10/100/1000 Mbps, con comunicación Full-Duplex. Además proveen funciones para clasificar y priorizar el tráfico haciendo uso del campo DSCP (*Differentiated Service Code Point*) o de la clase de servicio (CoS) IEEE 802.1p. Esta clasificación puede basarse en un criterio tan específico como la dirección IP, la dirección MAC, el puerto TCP o el puerto UDP (*User Datagram Protocol*).

3.2.4 Dimensionamiento

Como todo sistema telefónico a implantar es necesario dimensionar la red para permitir el tráfico de las señales de voz con un grado de servicio adecuado, y obtener así los niveles de confiabilidad deseados.

Es importante saber que el tráfico generado en las subestaciones es sumamente bajo. Según estadísticas del Despacho de Carga cada subestación realiza un promedio de 0.8 llamadas diarias en hora pico con una duración de 1 minuto 40 segundos cada una, lo que se traduce en una intensidad de tráfico de $A = 6.67$ para 300 extensiones telefónicas. Esto obedece a que su uso se limita a reportes de accesos, coordinación de trabajos en subestaciones y solicitud de información para maniobras de campo. Tomando en cuenta esto se puede afirmar que la red proporcionada por el proyecto LAN de Subestaciones es lo suficientemente amplia y escalable como para permitir la implantación de un sistema telefónico IP bien

dimensionado, así como también su futuro crecimiento.

3.3 Selección de la Solución de Telefonía IP

Para implantar un sistema de telefonía IP en las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A. cumpliendo con los requerimientos de interoperabilidad con el sistema actual y apegado a la normativa que rige a la red global de la empresa, se recomienda la adquisición de la solución Cisco presente en el mercado.

Cisco presenta una solución híbrida, modular y escalable, permitiendo una migración paulatina del sistema de telefonía convencional actual a una plataforma IP manteniendo la operatividad de los dos sistemas, esta solución consta del CallManager, los MCSs (*Media Converge Server*), Switches, Gateways VoIP, teléfonos IP y Cisco ATA (*Analog Telephone Adapter*).

El CallManager Cisco es un *software* encargado del procesamiento de las llamadas, extendiendo las características y funciones del sistema telefónico de la empresa a los dispositivos terminales de la red paquetizada como los teléfonos IP, aplicaciones multimedia y gateways VoIP. Los servicios adicionales de video, voz y datos como sistemas de respuesta interactiva, mensajería unificada, conferencias multimedia y centros de contacto interactúan con la solución IP mediante las APIs (*Application Programming Interfaces*) del CallManager. Este *software* es instalado en los MCSs de la serie 7800 de Cisco.

El sistema telefónico IP de Cisco incluye un conjunto de aplicaciones integrales de voz que evitan el requerimiento de un *hardware* especial para la realización de funciones como llamada en espera, transferencia de llamadas, desvíos,

conferencias, múltiples líneas, selección automática de rutas, discado rápido, y rediscado del último número. Estas funciones pueden ser fácilmente extendidas a todos los teléfonos IP de la red a través de la administración centralizada del CallManager. El sistema también provee movilidad de las extensiones, en tal sentido los usuarios pueden registrarse en cualquier teléfono IP para que su extensión y sus privilegios de discado sean aplicados a este equipo terminal, esto le da al usuario la habilidad de acceder a todas sus funciones personales como discado rápido, contactos personales y correo de voz desde cualquier teléfono IP sin necesidad de estar en su estación de trabajo.

Esta solución, por ser de tipo software, tiene como ventaja el hecho de poder ampliar su capacidad y sus funciones con tan solo actualizar el software del servidor, evitando costos de actualización a nivel de hardware, lo que representa una ventaja a nivel económico con respecto a otras soluciones de telefonía IP.

La facilidad de configurar múltiples servidores en modo cluster para el procesamiento de llamadas y ser gestionados como una sola entidad es única en el mercado, y ofrece la ventaja de poder dedicar servidores únicamente a respaldar el registro detallado de las llamadas realizadas (Servidor DP [*Database Publisher*]) y como servidores para descargar archivos de configuración, repiques telefónicos y códigos de operación (Servidor TFTP [*Trivial File Transfer Protocol*]). La escalabilidad de este sistema es de hasta 30.000 usuarios por cluster, conformado por un servidor DP, un servidor TFTP, cuatro servidores de procesamiento de llamadas y dos de respaldo, pudiendo interconectar hasta 100 *cluster* para obtener un procesamiento máximo de 3.000.000 extensiones. Como se puede observar cada servidor dedicado posee una capacidad máxima de 7500 usuarios (dependiendo del modelo del servidor).

3.3.1 Características de la Solución IP

Es necesario definir las características que posee la solución de telefonía IP planteada, además de las posibles configuraciones de cada una de ellas, a fin de presentar la opción a implementar con su respectivo estudio económico para luego formular las recomendaciones a ser tomadas en cuenta por la Gerencia de Telecomunicaciones para la ejecución del proyecto.

3.3.1.1 Arquitectura del Sistema

El objetivo de la Gerencia de Telecomunicaciones es apoyarse en la infraestructura proporcionada por el proyecto LAN de Subestaciones para unificar las redes de voz y datos existentes, creando así una plataforma de comunicación más fácil de gestionar y mantener, que permita la transmisión de todos los servicios existentes en las subestaciones. Adicionalmente, por razones de seguridad, se requiere que el sistema telefónico sea independiente del nodo principal de la red telefónica de la empresa. Esto con la finalidad de poder contar con un servicio de comunicación en las subestaciones en caso de contingencia.

Considerando lo señalado anteriormente, se plantea proveer el sistema de telefonía IP para las subestaciones haciendo uso de los recursos de telefonía IP instalados como lo es el Cisco CallManager corporativo, de esta manera se optimizan los recursos de la empresa, requiriendo así una menor inversión inicial.

El CallManager corporativo consta de un cluster conformado por dos servidores de la serie MCS 7800, el primero ejerce las funciones de un servidor DP, TFTP y respaldo, mientras que el segundo es el encargado de la gestión de las llamadas de los suscriptores. Cada servidor perteneciente al cluster está conectado al nodo principal de la red corporativa mediante cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

CAT6 a 1Gbps. El nodo principal está conformado por dos *switches* marca Cisco modelo Catalyst 6509 ubicados en el Data Center, los cuales poseen un módulo que realiza la función de gateway para comunicarse con la central telefónica principal ubicada en San Bernardino mediante una tarjeta de tipo WS-SVC-CMM, esta tarjeta posee interfaz para 6 EIs de los cuales uno solo se encuentra conectado a la interfaz Digital PSTN de la tarjeta TLU76/3 del módulo TL30 de la central telefónica MD110. El diagrama de interconexión del sistema corporativo se puede observar en la figura 2.2

Esta arquitectura permite la prestación del servicio telefónico a toda la red corporativa, la cual está interconectada a la red Metro Ethernet para Subestaciones a través del Core, pudiendo extender su capacidad hacia las subestaciones. Esta arquitectura no ofrece independencia del sistema telefónico de subestaciones, ya que cualquier falla en el CallManager o en el Core traería como consecuencia la ausencia del servicio. Para solventar esto se propone la implementación del SRST (*Survivable Remote Site Telephony*). Este sistema consiste en un módulo instalado en un router ISR 3825 equipado con una tarjeta de interfaz para interconexión con la PBX del Despacho de Carga, dicho router cumple la función de un CallManager de respaldo, en tal sentido cuando un terminal IP pierde conectividad con el CallManager principal debido a una falla del sistema o una falla de comunicación, el terminal se registra contra el router SRST y este asume las funciones necesarias para interconectar las llamadas entre los terminales IP y los teléfonos dependientes de la central telefónica del Despacho de Carga.

Este router debe estar situado en las instalaciones del Despacho de Carga para cumplir las premisas de seguridad de esta coordinación, además uno de los nodos principales del LAN de Subestaciones se encuentra ubicado en el mismo piso, facilitando la interconexión del router a este nodo para acceder a la red de subestaciones. El diagrama de la solución propuesta se puede observar en la

figura 3.1

De esta manera se puede proveer del servicio telefónico IP a todas las subestaciones pertenecientes a la red Metro Ethernet, optimizando el uso de la plataforma existente y presentando un sistema de respaldo totalmente independiente de la red corporativa.

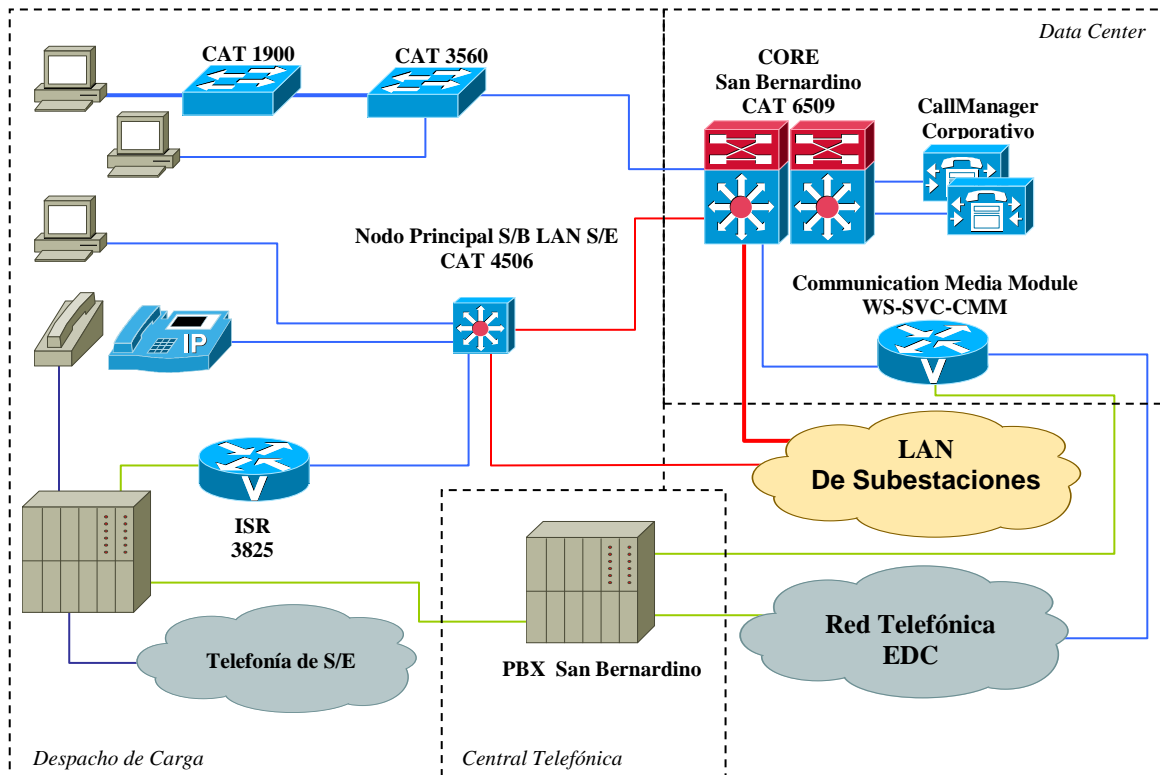


Figura 3.1 Arquitectura de la solución propuesta

3.3.1.2 Hardware

Esta solución está basada en el sistema Cisco CallManager descrito anteriormente, el cual se encuentra instalado en un servidor de la serie MCS 7800, ubicado en el Data Center de La Electricidad de Caracas C.A. Para poder implantar la

solución propuesta, es necesaria la adquisición de un router Cisco ISR (*Integrated Service Router*) 3825.

Este router esta capacitado para prestar servicio hasta 336 equipos terminales y posee la característica de soportar componentes modulares, permitiendo cambiar fácilmente las interfaces disponibles sin necesidad de rediseñar la red, lo que representa una protección de la inversión.

Para poder cumplir con el diseño planteado el ISR 3825 debe estar equipado con el módulo DSP (*Digital Signal Protocol*) contenido en la tarjeta PVDM (*Packet Voice DSP Modules*) que proporcione la comunicación con la PBX del Despacho de Carga mediante enlaces E1s haciendo uso de la señalización Digital PSTN (Digital R2).

El factor crítico de esta solución es el poder proporcionar un sistema de respaldo confiable e independiente de la red corporativa al sistema telefónico de las subestaciones. Para esto se recomienda la adquisición del Cisco SRST, con este módulo instalado en el ISR 3825 el enrutador al operar en modo SRST provee el procesamiento de las llamadas de su red asegurando la operatividad del sistema telefónico, incluyendo la comunicación con la PBX del Despacho de Carga. Cuando la falla es solventada, el enrutador le hace entrega del control de las llamadas al CallManager.

3.3.1.3 Software

Todos los switches y routers marca Cisco poseen integrado el software IOS (Internetwork Operating System). Este software consiste en un conjunto de funciones características de las redes de datos, el cual integrado con un sistema de multitareas

brinda la capacidad de procesamiento necesario para la integración de los diferentes módulos aceptados por los equipos Cisco.

Los sistemas adquiridos por la empresa poseen instalado la versión IOS 12.4. Todos los módulos y equipos recomendados en este estudio son compatibles con esta versión de software, lo que garantiza la interoperabilidad de los diferentes componentes del sistema.

El servidor del CallManager posee instalado diferentes aplicaciones de software que permiten el procesamiento de las llamadas, información acerca de la configuración de diferentes dispositivos, administración de su sistema, herramientas de análisis y reportes, herramienta para el monitoreo en tiempo real, realización de conferencias y directorio telefónico. Todas estas funciones son accesibles desde un browser, lo que permite que el administrador pueda gestionar el sistema telefónico desde cualquier punto de la red.

Otra aplicación incluida en esta solución es el CallManager Attendant Console. Este software le permite al usuario poder contestar y transferir las llamadas de un grupo de terminales, lo cual complementa la solución propuesta ya que es la aplicación a ser instalada en las consolas de los operadores del Despacho de Carga para poder encaminar a la PSTN las llamadas que así lo requieran.

3.3.1.4 Seguridad

El sistema Cisco CallManager en su versión 4.1 posee protección estándar para funciones de control de contraseñas, acceso al sistema y a la plataforma de gestión a través de contraseña. Adicionalmente esta solución incluye las siguientes

aplicaciones de seguridad:

- Modo de operación configurable: seguro o no seguro.
- Autenticación de dispositivo: mediante certificado X.509v3 incluido en los terminales.
- Integridad de los Datos: Soporta cifrado TLS (*Transport Layer Security*). Los mensajes son enviados junto con un tramo en SHA1 (*Secure Hash Algorithm* versión 1) para luego comparar y asegurar que el mensaje no es alterado en la transmisión.
- HTTPS (Versión segura del *Hypertext Transfer Protocol*) para las siguientes aplicaciones: Cisco CallManager Admin, Cisco CallManager Serviceability, Cisco CallManager User, RTMT (*Real Time Monitoring Tool*), Cisco CallManager TraceAnalysis, Cisco CallManager Service, Trace Collection Tool y CAR (Committed Access Rate).
- Privacidad: Soporta encriptación de señalización y del medio para equipos terminales, SRST y Gateways.
- Seguridad del teléfono: El administrador esta habilitado para desactivar http y Telnet en los teléfonos IP.

3.3.1.5 Calidad de Servicio

La plataforma proporcionada por el LAN de subestaciones está capacitada para proporcionar funciones de QoS (*Quality of Service*) avanzadas, ayudando a clasificar y priorizar el tráfico en la red para evitar la congestión de la menor manera posible.

Los switches de la red están capacitados para clasificar, reclasificar, encolar, marcar, politizar y organizar paquetes entrantes, así como también pueden organizar y encolar los paquetes salientes. Esto permite a los elementos de la red poder discriminar entre diferentes flujos de tráfico y reforzar las políticas basadas en los campos de QoS capa 2 y capa 3. Adicionalmente permite al administrador priorizar el ancho de banda utilizado para servicios como FTP (*File Transfer Protocol*), e-mail y telefonía IP.

Para implementar QoS los *switches* primero detectan el grupo de paquetes, luego clasifica o reclasifica dicho grupo mediante DSCP o IEEE 802.1p. La clasificación y reclasificación puede ser basada en criterios tan específicos como VLANs, direcciones IP fuente o destino, dirección MAC fuente o destino, puerto TCP o puerto UDP.

La QoS de la red actualmente se encuentra configurada de manera automática. Esta función detecta los terminales IP registrados en la VLAN de voz existente, permitiendo que los switches configuren de manera automática la clasificación apropiada de los paquetes, optimizando así la prioridad del tráfico y la disponibilidad de la red sin necesidad de implantar una configuración compleja.

3.3.1.6 Configuración de VLANs

Como ya se mencionó en el Capítulo II, la red Metro Ethernet de La Electricidad de Caracas está configurada de tal manera que cada anillo posee tres VLANs.

VLAN Data es la encargada de transportar los datos transmitidos y recibidos por todos aquellos equipos existentes en las subestaciones que soporten Ethernet

como lo son el control de acceso, cámaras de vigilancia y las protecciones que soporten Ethernet.

VLAN *Voice* tal como su nombre lo indica servirá de plataforma para todas las señales de voz. En tal sentido es la VLAN asociada al sistema de telefonía IP de las subestaciones. De esta manera los telefonos IP solo tendrán acceso al CallManagaer si son conectados al puerto específico del switch que tenga asociado la VLAN Voice.

VLAN SCADA es la red configurada para comunicar las RTUs de las subestaciones con los sistemas de gestión SCADA de distribución, de transmisión y de respaldo.

3.3.1.7 Configuración del Router ISR 3825

Se debe configurar el router creando las rutas (*dial peers*) correspondientes para que las llamadas generadas en los terminales IP de las subestaciones y corporativos que se dirigen a extensiones de la central telefónica MD110 del Despacho de Carga sean encaminadas a través del enlace E1 entre el enrutador y la PBX. Las llamadas generadas en la central telefónica del Despacho de Carga que tengan como destino terminales IP corporativos o de subestaciones deben ser encaminadas por este enlace E1 y completadas satisfactoriamente, incluyendo poder migrar transparentemente una extensión de la PBX del Despacho de Carga al sistema de comunicaciones IP.

El módulo SRST debe ser configurado para que las extensiones IP de subestaciones que funcionen en ese modo se puedan comunicar con las extensiones

pertenecientes a la PBX del Despacho de Carga.

3.3.1.8 Configuración del Cisco CallManager

En el sistema CallManager se debe crear la referencia SRST que apunta al enrutador ISR 3825 del Despacho de Carga, esto con la finalidad de proporcionarle a los equipos terminales que se registren en el CallManager la información necesaria para registrarse contra el módulo SRST en caso de falla del sistema principal. Se debe crear un grupo de dispositivos (*device pool*) que incluya esta referencia IP para los terminales de las subestaciones, mediante el cual se configuran una serie de parámetros comunes como región, fecha y hora para todos los terminales pertenecientes al grupo. Para garantizar la comunicación del CallManager con la PBX del Despacho de Carga mediante el ISR 3825 es necesario configurar una interfaz para gateway H.323, creando adicionalmente un patrón de destino con el plan de numeración de la PBX del Despacho de Carga asociándolo a dicho gateway.

3.3.1.9 Protocolos

A pesar de que tanto el CallManager versión 4.1 como los equipos terminales Cisco soportan H.323, el protocolo utilizado entre estos dos equipos es el SCCP¹⁰ (*Skinny Client Control Protocol*) debido a que este permite una arquitectura de red sencilla en la que las principales funciones de procesamiento son llevadas a cabo por el CallManager, mientras que los equipos terminales asumen la función de un cliente Skinny, requiriendo menor capacidad de procesamiento. Como es de

¹⁰ Debido a que SCCP es un protocolo propietario Cisco, la información disponible es muy escasa, por lo tanto este estudio no pretende explicar en detalle el funcionamiento de dicho protocolo.

esperarse, la comunicación entre el CallManager y los Gateways es de tipo H.323 ya que SCCP no contempla este tipo de mensajes.

El cliente Skinny se comunica con el CallManager mediante TCP/IP para establecer la llamada con otro terminal, una vez establecida, los dos equipos basan su conexión en RTP/UDP/IP para la transmisión de señales de voz en tiempo real.

3.3.1.10 Terminales Telefónicos

Para las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A. se requiere la instalación de varios equipos telefónicos ubicados en diferentes áreas de la subestación, debido a las características únicas de cada una, el número y ubicación de los terminales se obtendrá como resultado de una inspección o sitesurvey. En promedio se calcula que cada subestación requiera tres teléfonos: dos extensiones y un auxiliar.

Para poder ubicar el teléfono en las áreas requeridas es necesario que el cableado pase por bancadas y sótanos junto con cables de alta tensión, lo que según la experiencia del personal del grupo Transmisión de voz y datos, degrada rápidamente las características del cable UTP proveniente del switch, para solventar esto se puede adquirir cable con blindaje especial para planta externa, lo que significa incurrir en gastos de adquisición e instalación. Esto puede ser evitado haciendo uso de la infraestructura existente en las subestaciones como lo es el cableado recubierto con neopreno¹¹ actualmente desplegado para la transmisión de servicios en planta externa.

¹¹ Hule sintético de bajas propiedades dieléctricas pero superior a otros en lo que respecta a la resistencia a los aceites, a las flamas, a la abrasión y a la intemperie. Por esta razón y su gran flexibilidad se usa principalmente en forros o cubiertas de cables aislados con otros elastómeros.

Adicional a esto el cableado UTP CAT6 presenta como límite una distancia de 100 m. entre el switch y el equipo terminal. Esto crea un ambiente de trabajo no óptimo para el despliegue de teléfonos IP en las distintas áreas de la subestación.

Dadas estas condiciones y debido a los elevados costos de los teléfonos IP, se propone la utilización de adaptadores de teléfonos analógicos, estos equipos tienen la capacidad de integrar los teléfonos analógicos a la red de telefonía IP. El costo de estos equipos es equivalente al de un terminal IP básico, con la bondad de poder conectar varias extensiones telefónicas analógicas completamente independientes, además de proveer de una tecnología capaz de soportar la conexión teléfonos auxiliares a dichas extensiones. De esta manera solo es necesario proveer un punto de red y adquirir un adaptador, dos licencias (una por cada extensión) y tres teléfonos analógicos (suponiendo 2 extensiones y 1 auxiliar), en vez de proveer tres puntos de red, adquirir tres teléfonos IP y tres licencias. Según las pruebas realizadas con el equipo Cisco ATA 186, se garantiza el correcto funcionamiento del teléfono analógico conectando el equipo a menos de 16.2 Km. del ATA.

Otra ventaja adicional de utilizar el convertidor es el poder proveer al usuario final un teléfono analógico común, lo que representa someter a posible maltrato y hurto un equipo económico como lo es el terminal analógico.

3.3.1.11 Alimentación de Energía

Todos los sistemas de comunicaciones instalados en las subestaciones cuentan con un sistema de alimentación DC (48V DC) con respaldo basado en un banco de baterías de libre mantenimiento, los cuales garantizan una autonomía de 8 horas; en algunos casos, dependiendo de la importancia del nodo, la subestación cuenta con un motogenerador adicional para alimentar al cargador de las baterías. En

lo que alimentación AC se refiere, cada nodo LAN está equipado con una regleta de distribución.

Los switches Cisco Catalyst 2955 y 2960 que serán ubicados en las subestaciones no poseen la capacidad de proveer PoE (*Power Over Ethernet*) de acuerdo al estándar IEEE 802.3af. Este estándar permite la entrega de energía DC sobre el mismo cableado Ethernet, evitando así el tendido de cable de energía o el uso de fuentes de alimentación independientes para cada dispositivo.

Debido a que la alimentación AC para servicios auxiliares en las subestaciones no está provista de un sistema de respaldo como UPS (*Uninterruptible Power Supply*), se recomienda la adquisición de convertidores DC/DC que permitan alimentar los equipos terminales directamente desde el distribuidor DC ubicado en el rack de cada nodo, a fin de garantizar su operatividad en caso de falla de energía, haciendo uso del banco de baterías ubicado en las subestaciones. El ATA 186/188 es el único adaptador fabricado por Cisco. Este equipo es alimentado mediante 5V DC, los cuales son proporcionados haciendo uso del transformador incluido de 120VAC/5VDC conectado a la regleta de distribución AC del nodo, por tal motivo se recomienda la adquisición de un convertidor $48V_{DC}/5V_{DC}$.

El router ISR 3825 permite alimentación de 24 a 60 V_{DC} o alimentación de 100 a 240 V_{AC}, lo que facilita su conexión en las instalaciones del Despacho de Carga.

3.3.1.12 Dimensionamiento del Sistema

Como el sistema de telefonía IP para subestaciones se basa en la plataforma instalada para el uso corporativo, las extensiones dispuestas para las subestaciones

forman parte de las 2500 disponibles en el CallManager. Dicho sistema fue dimensionado para soportar el tráfico telefónico de 2500 usuarios con el perfil de personal administrativo, es decir, usuarios que por el tipo de actividades que realizan generan un flujo de tráfico mayor al utilizado en las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A., lo que garantiza un grado de servicio superior al requerido para subestaciones.

Como el proyecto LAN de Subestaciones está estructurado por fases, la migración del sistema telefónico debe ser ejecutada de la misma manera, habilitando el servicio IP en las subestaciones pertenecientes a las fases culminadas. Esto crea dos rutas que requieren ser analizadas a fin de asegurar el correcto funcionamiento del sistema durante el proceso de migración. La primera es el enlace existente entre el nodo principal del sistema telefónico de la empresa y la PBX del Despacho de Carga, dicho enlace posee la capacidad de 30 canales y por el circulan las llamadas generadas en la red corporativa convencional que tienen como destino las subestaciones con extensiones analógicas y viceversa, el tráfico que circula por este enlace tiende a disminuir a medida que aumenta el número de subestaciones emigradas al sistema IP, lo que garantiza que no exista congestión en el mismo. La segunda ruta es la propuesta entre el enrutador ISR 3825 y la PBX del Despacho de Carga, por esta ruta circulan las llamadas generadas en los terminales IP de subestaciones y los teléfonos IP corporativos dirigidas a los teléfonos convencionales de la PBX del Despacho de Carga y viceversa; al igual que la primera ruta, el tráfico que circula por este enlace depende del número de extensiones convencionales de la PBX del Despacho de Carga, y este valor va a ir disminuyendo a medida que se va desarrollando el plan de migración, como esta conexión es realizada mediante enlaces E1s la mínima cantidad de canales a instalar es 30, lo que garantiza la capacidad para manejar el tráfico que va a circular por esta ruta.

3.3.1.13 Codec de Voz

El enrutador ISR 3825 se comunica con la central de telefónica del Despacho de Carga mediante Els proporcionados por el módulo PVDM2 (*Packet Voice DSP Module 2*). Para codificar las señales de audio este módulo soporta protocolos de compresión de voz estándar como G.711, G.723.1, G.726, G.728, G.729, G.729a, G.729b y G.729ab. Esta tarjeta es capaz de soportar de manera simultánea hasta 8 conferencias de 8 extensiones utilizando G.711 o 2 conferencias simultáneas de 8 extensiones mediante G.729a. Adicionalmente este módulo está equipado con un software para cancelación de eco apegado a la norma ITU-I G.168 con cobertura de hasta 64ms de cola.

Otro componente que interviene en la codificación de señales de voz es el adaptador Analógico-IP, este dispositivo debe soportar los protocolos de compresión estándar como G.711 μ -law, G.711 A-law, G.723.1 y G.729, garantizando así su interoperabilidad con el CallManager

Como ya se mencionó antes, la red MetroEthernet proporcionada por el proyecto LAN de subestaciones está dimensionada para ofrecer un ancho de banda de aproximadamente 50Mbps, de los cuales se espera ocupar a lo sumo 1Mbps en la transmisión de otros servicios, por tal motivo no es necesario desmejorar la calidad del servicio telefónico con la finalidad de ahorrar el ancho de banda disponible.

Tomando como base la Tabla 3.1 proporcionada por Cisco, se puede observar que el ancho de banda necesario para la transmisión de una llamada utilizando G.711 es de 87.2Kbps, este protocolo a pesar de tener el mayor requerimiento de ancho de banda, ofrece un retardo de tan solo 0.125 ms por trama, mientras que G.723.1 representa un retraso de 37.5 ms. Por tal motivo se recomienda

configurar el sistema para operar bajo el codec G.711.

Tabla 3.1 Características de las normas de codificación de voz

Codec Information				Bandwidth Calculations			
Codec & Bit Rate (Kbps)	Codec Sample Size (Bytes)	Codec Sample Interval (ms)	Mean Opinion Score (MOS)	Voice Payload Size (Bytes)	Voice Payload Size (ms)	Packets Per Second (PPS)	Bandwidth Ethernet (Kbps)
G.711 (64 Kbps)	80 Bytes	10 ms	4.1	160 Bytes	20 ms	50	87.2 Kbps
G.729 (8 Kbps)	10 Bytes	10 ms	3.92	20 Bytes	20 ms	50	31.2 Kbps
G.723.1 (6.3 Kbps)	24 Bytes	30 ms	3.9	24 Bytes	30 ms	34	21.9 Kbps
G.723.1 (5.3 Kbps)	20 Bytes	30 ms	3.8	20 Bytes	30 ms	34	20.8 Kbps
G.726 (32 Kbps)	20 Bytes	5 ms	3.85	80 Bytes	20 ms	50	55.2 Kbps
G.726 (24 Kbps)	15 Bytes	5 ms		60 Bytes	20 ms	50	47.2 Kbps
G.728 (16 Kbps)	10 Bytes	5 ms	3.61	60 Bytes	30 ms	34	31.5 Kbps

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y DEMO

4.1 Pruebas Realizadas

Debido a que la solución planteada tiene como base el sistema IP corporativo ya instalado, las pruebas no se orientaron a la comprobación de la operatividad del CallManager, ni tampoco a la interoperatividad de este sistema con la central telefónica MD110 del nodo principal ubicado en San Bernardino, para esto el grupo Internetworking ha estado realizando pruebas con resultados satisfactorios.

Este estudio está orientado a presentar una solución para la implantación de telefonía IP en las subestaciones. Como ya se determinó en el Capítulo III, la manera más eficiente de cumplir con las exigencias del Despacho de Carga en las subestaciones es mediante el equipo ATA 186, por tal motivo fue necesaria la realización de pruebas para garantizar la correcta interoperabilidad del sistema.

4.1.1 Información General del Equipo ATA 186

El equipo Cisco ATA 186 es un adaptador de teléfonos analógicos a Ethernet que convierte los teléfonos convencionales en dispositivos IP, permitiendo a la empresa integrar los equipos existentes a la red VoIP, incluyendo máquinas de faxes.

4.1.1.1 Características

- Dos puertos FXS (*Foreign Exchange Station*) analógicos capaces de soportar teléfonos de tonos.
- Un puerto RJ 45 que permite conexión Ethernet 10BASE-T.
- Soporta autoconfiguración vía TFTP.
- Asignación automática de IP, máscara de subred y puerta de enlace predeterminada vía DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).
- Configuración mediante navegador web y/o menú de voz a través del teléfono analógico.
- Clave de administrador para proteger el acceso a la configuración.
- Actualizaciones vía red.
- Provisto de sistema de cancelación de ecos para cada línea.
- Sistema de detección de voz VAD (*Voice Activity Detection*).
- Sistema de generación de ruido de confort CNG (*Comfort Noise Generation*).
- Soporta protocolo SIP (RFC 2543) y SCCP.
- Página de estatus del equipo para monitorear la cantidad de paquetes entrantes, salientes y errados.
- Transmisión de FAXs mediante G.711.

4.1.1.2 Configuración Automática del ATA 186

A continuación se presenta el comportamiento del ATA durante su inicio por primera vez cuando trabaja en un entorno SCCP con servidor DHCP y TFTP:

1. El ATA utiliza CDP (*Cisco Discovery Protocol*) para identificar la VLAN a la que debe ingresar. Si el ATA recibe una respuesta VLAN ID del Switch, este entra y agrega una etiqueta 802.1Q VLAN a los paquetes IP. Si el ATA no recibe una respuesta VLAN ID, este asume que no está trabajando en un ambiente con VLAN y por lo tanto no agrega dichas etiquetas a sus paquetes.
2. El ATA contacta el servidor DHCP para solicitar una dirección IP.
3. De igual manera el ATA solicita al servidor DHCP la dirección IP del servidor TFTP del CallManager.
4. El ATA contacta el servidor TFTP y descarga el archivo de configuración general que le permite establecer comunicación con el CallManager, este archivo posee información acerca del protocolo de comunicación a utilizar (SCCP).
5. El ATA busca en el servidor TFTP el archivo de configuración específico, designado según la dirección MAC del dispositivo, y lo descarga si existe. Este archivo posee parámetros configurados en el CallManager necesarios para establecer llamadas mediante el ATA, ejemplo de estos parámetros son el codec de voz a utilizar y las extensiones telefónicas asociadas a cada puerto FXS.
6. En caso de no conseguir el archivo de configuración específico, el ATA descarga un archivo predeterminado denominado atadefault.cfg, mediante el cual se indica el tipo de codec de voz a utilizar y se le asigna a cada puerto FXS una extensión telefónica perteneciente al grupo de autoregistro.

4.1.2 Configuración del ATA 186 para Operar en Subestaciones

Por razones de seguridad la red LAN para subestaciones no opera en un entorno DHCP, por tal razón se hace necesario conocer la dirección IP asociada a

cada puerto del switch para poder acceder a la red, adicionalmente se ha asociado una dirección MAC a cada puerto, de esta manera solo esta permitida la conexión de dispositivos autorizados previamente por el personal del grupo Internetworking, logrando así un mejor control de los dispositivos a ser conectados en las subestaciones para evitar que entes externos accedan a la red de la empresa.

Esto hace necesaria la solicitud de los siguientes parámetros al personal de Internetworking a fin de configurar el ATA 186 para operar desde un nodo del LAN de subestaciones:

- Dirección IP estática del ATA 186
- Mascara de Subred
- Puerta de Enlace Predetrminada
- Dirección IP del servidor TFTP del CallManager
- Puerto del Switch a utilizar

Para configurar estos parámetros es necesario hacerlo mediante el menú de voz y un teléfono analógico o haciendo uso de un navegador web para acceder al dispositivo.

4.1.3 Desempeño del ATA 186

El dispositivo ATA 186 fue instalado dentro de la sede principal en San Bernardino con la finalidad de comprobar su correcto funcionamiento en un entorno con servidor DHCP, En la figura 4.1 se observa el diagrama de conexión del ATA 186. Esta prueba arrojó resultados satisfactorios, pudiendo comprobar la correcta configuración automática del equipo gracias al acceso mediante un navegador web. Para ingresar al equipo por esta vía es necesario hacer uso de un PC conectado a la

red, conocer la clave de acceso (por defecto no posee ninguna) y la dirección IP del ATA. La dirección IP se identificó mediante el menú de voz que posee el equipo. En la figura 4.2 se observa la pantalla de configuración de red del dispositivo, debido a la confidencialidad de esta información se han anulado los campos correspondientes a la dirección del servidor TFTP, la dirección IP estática del dispositivo, la puerta de enlace predeterminada y la máscara de subred.

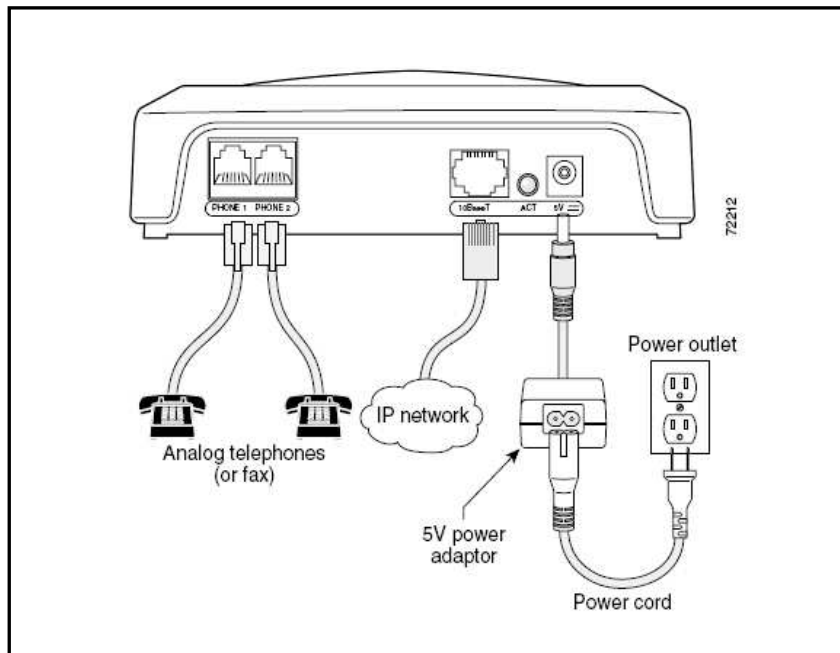


Figura 4.1 Diagrama de Conexión del Dispositivo ATA 186.


		<h2 style="margin: 0;">Network Parameters</h2> <h3 style="margin: 0;">Cisco ATA 186 (SCCP)</h3>	
Device Information Network Configuration Ethernet Statistics RTP Statistics Change Configuration Change UIPassword Network Parameters SCCP Parameters Tone Parameters Audio Parameters Service Parameters Debug Parameters Services Phone Status	UseTFTP <input type="text" value="1"/> TFTPURL <input type="text" value=""/> AltTFTPURL <input type="text" value="0"/> DHCP <input type="text" value="0"/> StaticIP <input type="text" value=""/> StaticRoute <input type="text" value=""/> StaticNetMask <input type="text" value=""/> DNS1IP <input type="text" value="0.0.0.0"/> DNS2IP <input type="text" value="0.0.0.0"/> OpFlags <input type="text" value="0x00000002"/> VLANSetting <input type="text" value="0x0000002b"/> TOS <input type="text" value="0x000068b8"/> SwitchPorts <input type="text" value="0x00000000"/>		

Figura 4.2 Pantalla de Configuración de Red del Dispositivo ATA 186.

Una vez conectado y verificada su configuración se procedió a la realización de diferentes llamadas para comprobar su correcto funcionamiento, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 4.1 Funcionamiento del dispositivo ATA 186 en ambiente DHCP.

Dispositivo Origen	Dispositivo Destino	Estado del Dispositivo Destino	Señalización recibida en el origen	Se completó la llamada
ATA 186	Ext. Digital	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. Digital	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Redirección a la contestadora	No
ATA 186	Ext. Digital	Ocupado (Llamada en espera disponible)	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. Analógica	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. Analógica	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
ATA 186	Ext. IP	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. IP	Ocupado (Llamada en espera disponible)	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Red Pública	Desocupado	No permite	X
ATA 186	Red Pública	Ocupado	No permite	X
Ext. Digital	ATA 186	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. Digital	ATA 186	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
Ext. Analógica	ATA 186	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. Analógica	ATA 186	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
Ext. IP	ATA 186	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. IP	ATA 186	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
Red Pública	ATA 186	Desocupado	No permite	No
Red Pública	ATA 186	Ocupado	No permite	No

Es importante conocer que el grupo de extensiones de autoregistro (utilizadas para cualquier Terminal IP) no están contempladas dentro del plan de numeración de La Electricidad de Caracas C.A. y por tal motivo existen extensiones replicadas en la central TDM, además de poseer restricciones distintas a las de las extensiones asignadas. Esto trae como consecuencia que al realizar una llamada desde la central TDM o IP a una extensión replicada en ambos sistemas, esta se completará solo con la extensión que se encuentra en el mismo sistema desde el que origina la llamada, en tal sentido no se pueden realizar llamadas desde una extensión TDM a una IP y viceversa si la extensión destino se encuentra replicada.

4.1.4 Prueba de Extensiones Auxiliares

Para determinar si es posible conectar teléfonos analógicos auxiliares a una extensión asociada a un puerto FXS del ATA 186 se realizó la conexión en paralelo de cinco teléfonos Siemens Euroset 3005 actualmente destinados por la empresa para su uso en subestaciones. Estos teléfonos, para poder operar correctamente, requieren una tensión de $-50V_{DC}$ en modo colgado y un lazo de corriente de más de 4mA en modo descolgado. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios verificando el correcto funcionamiento de los cinco dispositivos, los valores medidos en el montaje se muestran en la Tabla 4.2

Tabla 4.2 Valores medidos en extensiones auxiliares

Parámetro	Valor Medido	Un.	Valor Esperado
Corriente 1 teléfono “descolgado”	28	mA	>4 mA
Corriente 2 teléfonos “descolgados”	16	mA	> 4 mA
Corriente 3 teléfonos “descolgados”	8.8	mA	> 4 mA
Corriente 4 teléfonos “descolgados”	5.8	mA	> 4 mA
Corriente 5 teléfonos “descolgados”	4.9	mA	> 4 mA
Tensión “colgado”	-50	V _{DC}	-50 V _{DC}
Tensión de repique con los paralelos	50	V _{RMS}	40 V _{RMS}

4.1.5 Prueba de Distancia del Teléfono Analógico

Uno de los requisitos que debe cumplir el dispositivo ATA 186 es poder prestar servicio a un teléfono analógico ubicado a más de 100m de distancia, utilizando cableado existente en las bancadas y sótanos que comunican las diferentes áreas de una subestación, así como también las bancadas y sótanos que comunican diferentes subestaciones. Esta prueba es muy importante porque de esta manera se puede ubicar el teléfono en cualquier parte de una subestación sin necesidad de instalar cable UTP especial, además de poder servir de telefonía IP a subestaciones contiguas que no posean un nodo perteneciente al sistema LAN de Subestaciones.

Para la realización de esta prueba se utilizó un cable multipar de 30 pares identificado bajo el número 250 y con una longitud de 2,7 Km., ubicado entre la subestación Boyacá y la sede principal en San Bernardino. En el extremo ubicado en Boyacá se crearon 3 puentes o jumpers, logrando interconectar el par 6 con el 7, el 8

con el 9 y el 10 con el 11, a fin de crear tres rutas con ambos extremos ubicados en San Bernardino y poder realizar las pruebas desde la sede, además de poder hacer puentes en ese extremo para crear tres rutas con distancias diferentes. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, permitiendo la operatividad de la extensión de manera correcta sin desmejorar la calidad del servicio. Las mediciones realizadas fueron obtenidas con el instrumento denominado TDR (*Time Domain Reflectometer*) y se encuentran reflejadas en la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Valores medidos en prueba a distancia

Parámetro	Valor medido			Valores Óptimos
	Ruta A D = 5,4 Km.	Ruta B D = 10,8 Km.	Ruta C D = 16,2 Km.	
Tensión “colgado”	-48,5 V _{DC}	-48,4 V _{DC}	-48,3V _{DC}	-50 V _{DC}
Corriente de lazo	-23,6 mA	-17,8 mA	-14,2 mA	> 23 mA
Pérdida	< -40 dBm	< -40 dBm	< -40 dBm	< 8.5 dBm
Ruido	7 dBrnC	11 dBrnC	12 dBrnC	< 20 dBrnC
Power Influence ¹²	56 dBrnC	56 dBrnC	56 dBrnC	< 80 dBrnC
Longitudinal Balance ¹³	78	77	78	> 59 dB

¹² Parámetro que mide el nivel de voltaje y ruido relacionado con interferencias a 50/60 Hz.

¹³ Parámetro que mide la igualdad de la impedancia entre cada conductor y tierra.

Los valores óptimos indicados en la tabla, se rigen según los criterios generales aceptados para *Plain Old Telephone Service* (POTS) en Estados Unidos y Canadá. La unidad de medida dBrnC es una denominación utilizada por la empresa Bell de Estados Unidos para mediciones con ponderación C-MESSAGE en vez de la ponderación psfométrica del UIT-T.

Como se puede observar la única ruta que cumple con los valores óptimos es la ruta A, ya que las demás difieren en el parámetro relacionado con el lazo de corriente. Esto no significa mayor problema debido a que dicho parámetro está relacionado con teléfonos de tecnología pasada que requieren como mínimo de 23mA para su correcto funcionamiento, hoy en día los teléfonos requieren de un nivel de corriente mucho menor. Por lo tanto, según los resultados arrojados por estas pruebas, se garantiza el correcto funcionamiento del teléfono analógico servido por el ATA 186 a una distancia menor o igual a 16,2 Km.

4.2 Demo

Para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo de grado, es necesaria la implantación de una prueba piloto en una subestación a fin de corroborar los resultados obtenidos en este estudio, presentar al personal que labora en subestaciones un nuevo sistema telefónico para evaluar su aceptación y contar con dicha instalación para la presentación del proyecto a la coordinación de Despacho de Carga para su posterior aprobación.

Esta prueba piloto consiste en la configuración e instalación del equipo terminal ATA y de un teléfono analógico de forma adecuada, cumpliendo con las

normas de seguridad de la empresa.

El requisito necesario para la selección de la subestación a implantar el demo es que esta forme parte de la primera fase del proyecto LAN de subestaciones, lo que garantiza que la subestación cuenta con todo el equipamiento necesario incluyendo el sistema de respaldo de energía. Para la prueba piloto se decidió utilizar la subestación Ángeles ya que además de cumplir con este requisito, es una subestación pequeña que puede ser servida con un sólo teléfono y posee fácil acceso, lo que facilita las labores de instalación.

Como ya se mencionó en el Capítulo III, la ubicación, cantidad y tipo de teléfono a instalar es resultado de la inspección realizada en la subestación. Para esta inspección se contó con la participación del Ing. Julio Juárez Coordinador de Seguridad del Despacho de Carga, del Lic. José Abdallah Coordinador de Transmisión de Voz y Datos y el Ing. Jonathan Sarmiento, personal adscrito al mismo grupo. De esta manera, con el consenso de los grupos involucrados en el proyecto (cliente y proveedor) se determinó que las necesidades de la subestación pueden ser solventadas con la instalación de un teléfono analógico servido por medio de un ATA 186, ubicado en la pared frontal de la caseta de RTU (ver anexo 3). Dicho teléfono se interconecta mediante un par de un cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*) con el patch panel ubicado en el rack de comunicaciones instalado en la misma caseta, sirviendo de puente para interconectar con el ATA 186, el cual se encuentra instalado como muestra la Figura 4.1. La inspección en sitio y los trabajos realizados en la subestación Ángeles para habilitar la extensión telefónica IP se muestran en el Anexo 3.

El dispositivo ATA 186 se encuentra configurado para operar desde un ambiente sin servidor DHCP, en tal sentido se encuentra programado bajo una dirección IP fija asignada por el grupo Internetworking para establecer la

comunicación a través de un puerto específico del switch ubicado en la subestación.

El sistema telefónico IP instalado en subestación Ángeles presenta una debilidad. Debido a que el dispositivo ATA 186 fue instalado tomando como alimentación los $5V_{DC}$ provenientes del convertidor AC/DC conectado a la alimentación auxiliar de la subestación, este no posee el respaldo de energía proporcionado por el banco de baterías del nodo. Esta debilidad se solventa con la adquisición de convertidores DC/DC que conectados al sistema de alimentación DC del nodo, proporcionen los $5 V_{DC}$ necesarios para el correcto funcionamiento del ATA 186. De esta manera el teléfono analógico servido por el adaptador, contará con una autonomía de 8 horas en caso de falla de energía.

Una vez instalado y configurado todo el equipamiento necesario para proveer el servicio telefónico IP en la subestación, se procedió a la realización de las pruebas de operatividad que garanticen el correcto funcionamiento del sistema. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4.4.

Como se puede observar, el resultado obtenido es muy similar a las pruebas realizadas en un ambiente con servidor DHCP, la diferencia radica en que como la extensión telefónica asignada al puerto FXS 1 del ATA 186 no pertenece al grupo de autoregistro. Esta posee habilitado el discado entrante de la PSTN y no existe replica de la extensión en el sistema TDM de la empresa, lo que permite la correcta interoperabilidad con todas las extensiones de La Electricidad de Caracas C.A.

Tabla 4.4 Funcionamiento del Dispositivo ATA 186 en Ambiente sin DHCP.

Dispositivo Origen	Dispositivo Destino	Estado del Dispositivo Destino	Señalización recibida en el origen	Se completó la llamada
ATA 186	Ext. Digital	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. Digital	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Redirección a la contestadora	No
ATA 186	Ext. Digital	Ocupado (Llamada en espera disponible)	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. Analógica	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. Analógica	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
ATA 186	Ext. IP	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Ext. IP	Ocupado (Llamada en espera disponible)	Tono de extensión desocupada	Si
ATA 186	Red Pública	Desocupado	No permite	X
ATA 186	Red Pública	Ocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. Digital	ATA 186	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. Digital	ATA 186	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
Ext. Analógica	ATA 186	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. Analógica	ATA 186	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
Ext. IP	ATA 186	Desocupado	Tono de extensión desocupada	Si
Ext. IP	ATA 186	Ocupado (Llamada en espera no disponible)	Tono de extensión ocupada	No
Red Pública	ATA 186	Desocupado	No permite	No
Red Pública	ATA 186	Ocupado	No permite	No

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez garantizada técnicamente la viabilidad de implantar un sistema de telefonía IP en las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A. mediante el estudio de la factibilidad técnica y la instalación de la prueba piloto, es necesaria la realización de un análisis económico que permita evaluar la rentabilidad del proyecto a fin de presentar a la Gerencia de Telecomunicaciones un estudio de factibilidad completo que sirva como herramienta para la toma de decisiones en lo que al sistema telefónico de subestaciones se refiere.

Como ya se mencionó en el Capítulo II, La Electricidad de Caracas C.A. no depende del servicio prestado por empresas de telecomunicaciones para proveer el sistema telefónico interno, incluyendo las subestaciones. Sin embargo, para ofrecer un servicio de calidad que cumpla con los SLA (*Service Level Agreement*) de la empresa, es necesario la contratación de personal que se dedique al mantenimiento preventivo y correctivo de la red, así como también es necesaria la actualización y mantenimiento de las centrales telefónicas para poder contar con una plataforma no obsoleta que permita la integración de nuevos servicios y la incorporación de los repuestos existentes en el mercado.

En la Tabla 5.1 se puede apreciar el gasto mensual promedio de la empresa por concepto de actualización de la PBX y mantenimiento de la red telefónica de subestaciones. El campo correspondiente a la actualización de la central telefónica del Despacho de Carga fue calculado tomando en cuenta la renovación de la PBX cada tres años.

Actualmente el mantenimiento preventivo y correctivo de la red telefónica de subestaciones recae sobre el grupo Transmisión de Voz y Datos, este grupo es responsable del mantenimiento de las distintas redes presentadas en el Anexo 1, por lo que el gasto asociado al recurso humano mostrado en la Tabla 5.1 corresponde con el porcentaje de fallas relacionadas con esta red (38.13%). Con la implantación del sistema telefónico IP este gasto se convierte en ahorro debido al aumento de eficiencia, ya que las labores correspondientes al mantenimiento de este nuevo sistema pueden ser asumidas por el personal del grupo Internetworking gracias a la integración de todos los servicios en la red Ethernet, mientras que el personal del grupo de transmisión de voz y datos puede dedicar mayor tiempo al mantenimiento de las otras redes mencionadas anteriormente.

Tabla 5.1 Gasto mensual promedio del sistema telefónico actual

Concepto	Gasto Mensual Promedio (\$)
Cuadrilla (38.13%)*	3.078,6
Personal Empleado (38.13%)*	3.103,4
Actualización de PBX Despacho de Carga	240
Total	6.422

() Este personal tiene a su cargo el soporte de otras redes, por lo que aquí se refleja el gasto correspondiente al porcentaje de fallas asociadas a la red telefónica de subestaciones.*

La inversión inicial asociada a la implantación de esta solución se puede apreciar en la Tabla 5.2 según cotización emitida por proveedor registrado en La Electricidad de Caracas C.A. que por razones de confidencialidad se reserva el nombre de esta empresa. En esta tabla se refleja el costo de los equipos que según la solución propuesta se deben situar en las instalaciones del Despacho de Carga. Adicionalmente se presenta la Tabla 5.3 donde se refleja el costo promedio de los materiales de un nodo TIP (*Telefonía IP*) equipado con un teléfono IP, un ATA 186 y

un teléfono analógico industrial con gabinete.

Con los costos reflejados en estas tablas, se calcula que la inversión inicial necesaria para la implantación del sistema telefónico IP propuesto para la primera fase del proyecto LAN de Subestaciones conformada por 27 nodos es de 50.600,97 \$.

Este monto incluye la contratación de una cuadrilla y la dedicación de una persona del grupo Transmisión de Voz y Datos por un período de tres meses para realizar la instalación de los 27 nodos.

Tabla 5.2 Costo de equipos a Instalar en el Despacho de Carga

Cant.	Producto	Descripción	Precio (\$)
1	CISCO3825-SRST/K9	3825 Voice Bundle w/ PVDM2-64,FL-SRST-168,SP Serv,64F/256D	7.377,00
1	VIC2-2FXO	Two-port Voice Interface Card - FXO (Universal)	240,00
1	VVIC-1MFT-E1	1-Port RJ-48 Multiflex Trunk - E1	780,00
1	PVDM2-64	64-Channel Packet Voice/Fax DSP Module	1.920,00
1	CAB-E1-BNC	E1 Cable BNC 75ohm/Unbal 5m	60,00
1	S382SPSK9-12311T	Cisco 3825 IOS SP SERVICES	0,00
1	PWR-3825-AC	Cisco 3825 AC power supply	0,00
1	CAB-AC	Power Cord,110V	0,00
1	ROUTER-SDM	Device manager for routers	0,00
1	MEM3800-256D-INCL	256BM SDRAM default memory for 3800	0,00
1	MEM3800-64CF-INCL	64MB Cisco 3800 Compact Flash Memory Default	0,00
1	FL-SRST-168	Feat Lic Survivable Remote Site Telephony Up To 168 Phones	0,00
1	PVDM2-64	64-Channel Packet Voice/Fax DSP Module	0,00
1	CON-SNT-3825SRST	SNT 8X5XNBD + SAU 3825 Voice Bundle	1.174,80
Total			11.551,80

Tabla 5.3 Costo de un nodo TIP en subestaciones

Material	Cantidad	Precio (\$)
Teléfono industrial con gabinete para exteriores	1	400
Teléfono IP Cisco 9902G	1	120
Transformador AC/DC para teléfono IP	1	55
Licencia para teléfono IP	1	50
Cisco ATA 186	1	150
Licencia para el ATA	1	50
Cable UTP	100 m	95
Coupling	2	4
Patch cord UTP	1	3.5
Tubería conduit ½"	5 m	15
Rosca Terminal	4	2
Condulets	3	15
Caja de paso	1	10
Elementos de fijación	10	5
Identificación del cajetín telefónico	1	4
Total		975

Para el cálculo del retorno de la inversión se utilizó la siguiente ecuación:

$$C = a \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \quad (3)$$

Esta expresión permite calcular el valor presente (en el origen del tiempo) de una serie uniforme de n pagos de valor a , donde C es la suma equivalente de los n pagos a un interés atractivo i .

Teniendo esta ecuación, se iguala el valor C a la inversión inicial de 50.600,97 \$, a es el monto del ahorro mensual de 6.422 \$ y utilizando un interés atractivo de 9.07%, da como resultado un retorno de inversión en aproximadamente 15 meses.

CONCLUSIONES

El presente estudio permite concluir acerca de varios aspectos a considerar para la implantación de un sistema de telefonía IP en La Electricidad de Caracas C.A. El poder implantar un sistema telefónico soportado por el proyecto LAN de Subestaciones, permite el despliegue de una tecnología emergente con grandes proyecciones a futuro de una manera rentable a nivel económica y sin necesidad de realizar cambios drásticos en la plataforma actual, teniendo como beneficio una sola red capaz de soportar todos los servicios del que actualmente gozan las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A., además de permitir la integración de los nuevos equipos y tecnologías existentes en el mercado.

La existencia de una red de datos dedicada exclusivamente para las subestaciones de la empresa representa una ventaja para la transmisión de datos en tiempo real, debido a que este es un ambiente controlado, donde el ancho de banda esta asignado a cada equipo según su uso y estos dispositivos no presentan picos en la transmisión de datos que requieran mayor ancho de banda en determinado momento, como los que se dan cuando el terminal es un usuario conectado a un servicio como Internet, de esta manera se puede garantizar el ancho de banda adecuado para la transmisión de voz sin que esto represente desmejora en los otros servicios prestados.

La solución planteada en este estudio es el resultado del cruce entre las diferentes configuraciones del sistema telefónico IP ofrecido por Cisco, el menor impacto técnico en la red actual, el cumplimiento de las exigencias de la coordinación del Despacho de Carga y el menor costo asociado a esta solución, obteniendo así la configuración que más se adapta a las necesidades de La Electricidad de Caracas C.A.

Debido al dimensionamiento del proyecto LAN de Subestaciones el ancho

de banda necesario para la transmisión de voz no es un recurso escaso que requiera ser economizado, en tal sentido no es necesaria la utilización de codecs de voz complejos que exijan un menor ancho de banda ya que estos introducen un retraso mayor, por el contrario, la prioridad de este proyecto es poder ofrecer al usuario final un sistema telefónico con la mejor calidad de servicio posible y para esto es necesario implementar codecs de voz que agreguen menos retardo a la transmisión sin importar que ocupen un ancho de banda mayor. Otro factor que influye en la calidad de la voz son las políticas de calidad de servicio de la red de datos, implementada en los switches de la red mediante la creación de una VLAN que será dedicada a la telefonía y la configuración de estos switches para dar prioridad de transmisión a los paquetes asociados a esta VLAN.

El sistema telefónico de subestaciones actual depende de la red de cobre, esta red se encuentra en estado de obsolescencia y presenta un alto índice de fallas además de requerir un mantenimiento constante. Con la migración de este servicio al sistema IP se evita esta dependencia, y el nuevo sistema telefónico estaría soportado por la red de fibra óptica, la cual presenta mayor resistencia a los embates de la naturaleza, a las interferencias electromagnéticas y a los hurtos debido a su difícil comercialización.

El protocolo actualmente utilizado para el sistema IP corporativo, y por ende el de subestaciones, es SCCP y H.323 permitiendo una señalización simple con equipos terminales Cisco y la interoperabilidad con los otros sistemas, incluyendo los Gateways que sirven de interfaz a las PBX TDM. Esto es un factor crítico para este proyecto debido a que el proceso de migración será ejecutado por etapas a medida que vayan concluyendo las fases del proyecto LAN de Subestaciones. Actualmente en el mercado Cisco ofrece la nueva versión capaz de soportar terminales SIP, este protocolo está tomando gran auge en el mercado, por lo que la mayoría de los

dispositivos existentes son compatibles con este protocolo.

La arquitectura centralizada de este sistema permite una mejor gestión de la red telefónica de subestaciones, además de posibilitar la instalación de los equipos que soportan la red en caso de contingencia en las mediaciones del Despacho de Carga, lo cual es un requisito primordial para este proyecto.

Es importante la adquisición de transformadores DC/DC para alimentar los equipos terminales directamente del distribuidor DC de rack de comunicaciones debido a que los equipos adicionales que este estudio recomienda adquirir son para proveer un sistema de respaldo independiente, el cual carece de sentido si el equipo terminal depende del servicio de energía AC auxiliar de la subestación.

RECOMENDACIONES

Una vez analizado y presentado este estudio es evidente la factibilidad de la implementación de un sistema de telefonía IP en las subestaciones de La Electricidad de Caracas C.A., por lo que se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Adquisición e instalación de los equipos mencionados en el Capítulo III. Esta instalación debe ser realizada por etapas a medida que vayan culminando las fases del proyecto LAN de Subestaciones, sin desincorporar el equipamiento asociado al sistema telefónico actual.
2. Actualización de la versión del CallManager actual a la versión 5.0, esta versión ofrece, entre otras cosas, comunicación con terminales SIP. Hoy en día el mercado ofrece dispositivos SIP que no soportan H.323, poniendo en desventaja los sistemas que solo soportan este protocolo.
3. Evaluar el sistema de alimentación adecuado para los dispositivos a ubicar en las subestaciones ya que los switchs Catalyst 2955 y 2960 no proveen PoE y estos equipos no deben ser alimentados con el sistema auxiliar AC de la subestación. Se recomienda el uso de transformadores DC/DC o la instalación de patchpanel con adaptación para proveer PoE junto con adaptadores de teléfonos analógicos que soporten PoE.
4. Realizar un estudio técnico económico para implantar un sistema de telefonía inalámbrica en las subestaciones que permita movilidad a los operadores de campo ya que actualmente se ven en la obligación de desplazarse continuamente por la subestación para tener acceso al teléfono mientras operan la subestación, lo que produce retraso en el tiempo de atención de fallas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ruelas, Ana. *México y estados unidos en la revolución de las telecomunicaciones*.- EN: <http://lanic.utexas.edu/la/mexico/telecom/agradec.html>.- Libro en Línea, (1995). [Consulta: 2006, Octubre].
- [2] Wikipedia. *Alexander graham. bell*.- EN: http://es.wikipedia.org/wiki/Alexander_Graham_Bell .- Enciclopedia en Línea, (2006). [Consulta: 2006, Octubre].
- [3] Avantel. *Diferenciadores esenciales de la tecnología IP*.- EN: <http://portal.avantel.com.mx/wps/portal> .- White paper, (2002), p. 2. [Consulta: 2006, Octubre].
- [4] Piralla, Richard. *Informe justificativo del proyecto LAN de subestaciones*.- Informe.- Caracas: La Electricidad de Caracas C.A., 2006 p.1.
- [5] Sarmiento, Jonathan. Entrevista personal.- Octubre 9, 2006.
- [6] Telefónica Empresas. *Redes frame relay y atm*.- EN: http://www.speedy.com.ar/speedynegocios/enlinea/19tecnologia_1.html .- Revista en línea, (2006). [Consulta: 2006, Octubre].
- [7] Cisco. *Cisco Certified Network Associate*.- EN: CCNA CD #1. Módulo 1, 2006.
- [8] ADR Infor. *El modelo de referencia TCP/IP*.- EN: <http://www.adrformacion.com/cursos/wserver/leccion1/tutorial5.html> .- Curso en

Línea, (2005). [Consulta: 2006, Noviembre].

[9] Mendillo, Vincenzo. Práctica sobre tráfico telefónico y VoIP, Gestión de Redes CD #1. 2002.

BIBLIOGRAFÍAS

Entrevista realizada al personal de Transmisión de Voz y Datos en La Electricidad de Caracas C.A, Octubre 2006.

Entrevista realizada al personal de Internetworking en La Electricidad de Caracas C.A, Enero 2007.

Parkinson, Richard. Traffic Engineering Techniques in Telecommunications, Infotel System Corporation (s.f.).

Mendillo, Vincenzo. Práctica sobre tráfico telefónico y VoIP, Gestión de Redes CD #1. 2002.

Manual de procesos: proceso 6. Proveer infraestructura. G.E. Planificación y Desarrollo de Generación y Transmisión / La Electricidad de Caracas C.A. Caracas, 1998.

Cisco System Inc. Cisco IP Telephony Network Design Guide [en línea]. http://www.cisco.com/global/ES/solutions/ent/avvid_solutions/tdm_ip_tel_home.shtml [Consulta: 2006, Diciembre]

Vargas, Sabrina. Estudio de la factibilidad técnica y económica de la solución de telefonía IP en el SENIAT/ Sabrina Vargas (Tesis).-- Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2006.

Sarmiento, Jonathan. Diseño e implementación de un sistema de telecomunicaciones para la integración de los servicios en las subestaciones eléctricas/ Jonathan

Sarmiento (Tesis).-- Caracas: Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, 2007.