

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN ESQUEMA DE CANALIZACIÓN Y MULTIPLEXACIÓN PARA LA MIGRACIÓN DE SERVICIOS ASOCIADOS A TELEMETRÍA, EN LA RED TRONCAL DE PDVSA REGIÓN CENTRO.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Fernando Iván Toro Sanoja
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2016

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO DE UN ESQUEMA DE CANALIZACIÓN Y MULTIPLEXACIÓN PARA LA MIGRACIÓN DE SERVICIOS ASOCIADOS A TELEMETRÍA, EN LA RED TRONCAL DE PDVSA REGIÓN CENTRO

Profesor Guía: Dr. Carlos Moreno

Tutor Industrial: Ing. Eduardo Agra

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Fernando Iván Toro Sanoja
para optar al título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2016

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 02 de diciembre de 2016

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 Fernando Toro S., titulado:

“DISEÑO DE UN ESQUEMA DE CANALIZACION Y MULTIPLEXACIÓN
PARA LA MIGRACIÓN DE SERVICIOS ASOCIADOS A TELEMETRÍA, EN LA
RED TRONCAL DE PDVSA REGIÓN CENTRO”

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 el autor, lo declaran APROBADO.


Prof. María Lejed
Jurado


Prof. Luis Fernández
Jurado


Prof. Carlos Moreno
Prof. Guía

*Este trabajo está dedicado a
todos aquellos quienes rechazan
cualquier clase de dogma*

AGRADECIMIENTOS

Deseo en primer lugar expresar mi más profundo agradecimiento a la persona que ha constituido para mí una columna de apoyo en todos mis emprendimientos; mi madre Carmen Alicia Sanoja.

En un instructivo para la elaboración de los trabajos de grado de una prestigiosa universidad extranjera, se dice que no se considera apropiado expresar agradecimiento a los tutores, dado que éstos realizan el seguimiento del desarrollo de los trabajos de grado como parte del cumplimiento de sus funciones. Estoy en franco y completo desacuerdo con ello, y por ende considero ésta como la más oportuna ocasión para expresar mi mayor gratitud para con mi profesor guía Dr. Carlos Moreno, por su apoyo entusiasta, reiterado y decidido, así como por las extensas y provechosas conversaciones sobre temas técnicos. Vaya así mismo mi más honda gratitud para mi tutor industrial, el Ing. Eduardo Agra, por las valiosas oportunidades brindadas, por el constante y decidido apoyo en el desenvolvimiento de las mismas, por el continuo estímulo para continuar adelante y, sobre todo, por predicar con su ejemplo. Ambos se han convertido para mí en preciadas amistades.

Me complazco muy especialmente en expresar mi más profunda gratitud a María Auxiliadora Rojas; quien cuya buena disposición en el abnegado desenvolvimiento de sus funciones, yendo con ello mucho más allá del cumplimiento de las responsabilidades relativas a su cargo, ha dejado una indeleble huella en promociones enteras de ingenieros electricistas.

A mi amigo, el Ing. Carlos Veroes, sin quien toda esta valiosa experiencia no hubiese sido posible.

A Miguel Tilano, por su continua inclinación a compartir en forma entusiasta su vasta experiencia en el campo de las redes de microondas en alta capacidad. A José Lugo y Jorge Silva, por su apoyo y soporte en la clarificación de aspectos esenciales, tanto técnicos como organizacionales, de un sistema amplio y complejo. Al Ing. Douglas Fuentes, por su oportuna exposición de aspectos clave del funcionamiento de la telemetría dentro de la red troncal de [PDVSA](#).

A la Ing. Zulimar Tovar, por su muy preciso y oportuno apoyo en momentos clave de la última etapa de redacción de este tomo final. Al Ing. Joel Guerrero, por su muy importante apoyo en la elaboración del tomo, además de por sus habilidades de dirección y gestión. A mi amiga la Lic. Donnaty Durán, por sus entusiastas comentarios y por su decidido y oportuno apoyo en una parte fundamental de la presentación de este trabajo.

Deseo dejar sentado mi agradecimiento para con la comunidad internacional del software libre, por su incansable trabajo al poner a disposición herramientas informáticas de la más alta calidad, y por sobre todo, bajo los más altos principios éticos.

A Judith Hernández y Keneea Alvarado, por sus constantes palabras y acciones de estímulo para continuar adelante. También muy especialmente a Annelie Jurewitz, por haber sido, y a pesar de todo, seguir siendo; *Eva*.

Fernando Iván Toro Sanoja

**DISEÑO DE UN ESQUEMA DE CANALIZACIÓN Y
MULTIPLEXACIÓN PARA LA MIGRACIÓN DE SERVICIOS
ASOCIADOS A TELEMETRÍA, EN LA RED TRONCAL DE PDVSA
REGIÓN CENTRO**

Profesor Guía: Dr. Carlos Moreno. Tutor Industrial: Ing. Eduardo Agra. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Comunicaciones. Institución: PDVSA. 2016. 92 h.

Palabras Claves: PCM; TDM; Banco de canales; E1; PDH; SDH; Telemetría; V.32; G.703; Multiplexación.

Resumen. Se realiza un estudio descriptivo de la red troncal de transmisión de PDVSA región centro; su topología, tecnologías utilizadas, equipos empleados, así como las modalidades de operación. Se hace énfasis en los servicios proporcionados a la transmisión de datos provenientes de estaciones de telemetría que monitorean variables asociadas a un sistema (poliducto) de bombeo y transporte de gas natural. Se detalla la configuración actual de tales servicios, evidenciando la necesidad existente de realizar la migración de los mismos, actualizándolos a tecnologías más recientes, más robustas y flexibles, con mayores y más extendidas capacidades de gestión y mantenimiento. Se realiza una investigación documental sobre las tecnologías y estándares involucrados; conversión analógico-digital (PCM), multiplexación digital en tiempo (TDM), portadora digital E1, jerarquías digitales plesiócrona (PDH) y síncrona (SDH), entre otras. Se estudian exhaustivamente las capacidades del equipo asignado para la migración de los servicios en cuestión; el concentrador y multiplexor Alcatel MainStreet 3600, tomando en cuenta sus principios de funcionamiento, así como sus aspectos prácticos de operación; incluyendo su instalación, configuración, establecimiento del sincronismo, así como sus formas y medios de interconexión. La migración de los servicios de telemetría es reseñada en detalle, incluyendo la creación de las rutas para los mismos, realización de pruebas de conformidad y desempeño que garanticen su óptima operatividad, así como la implementación definitiva. Por último se presentan las conclusiones, tanto generales como específicas, alcanzadas luego de la realización de las actividades descritas y se ofrece una serie de recomendaciones.

ÍNDICE GENERAL

	Página
CONSTANCIA DE APROBACIÓN	II
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ACRÓNIMOS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Antecedentes y justificación	5
1.2 Objetivo general	6
1.3 Objetivos específicos	6
CAPÍTULO II	
RESEÑA DE LA EMPRESA	7
2.1 Presentación de la empresa	7
2.1.1 Actividades a las que se dedica	7
2.1.2 Reseña histórica	8

2.1.3	Misión	8
2.1.4	Visión	8
2.1.5	Objetivos de la Organización	9
2.1.6	Organigrama general de la Empresa	10
2.1.7	Organigrama del Departamento donde se realizó la Pasantía	10

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO		12
3.1	Modulación por pulsos codificados PCM	13
3.1.1	El canal vocal	13
3.1.2	Conformación del flujo PCM	15
3.1.3	Muestreo	16
3.1.4	Cuantificación	17
	Error de cuantificación	18
	Cuantificación uniforme y no uniforme	19
	Compansión	21
	Ley- μ	22
	Ley-A	23
3.1.5	Codificación	23
	Codificación binaria	24
	Codificación de línea	25
3.2	Multiplexación por división de tiempo TDM	26
3.3	Trama digital E1	27
3.3.1	Alineación de trama	28
3.3.2	Monitoreo de errores	29
3.3.3	Señalización	31
	Señalización E&M	33
3.4	Jerarquía Digital Plesiócrona PDH	33
3.5	Jerarquía Digital Síncrona SDH	37
3.5.1	Estructura básica de la trama SDH	39
	Contenedor Virtual VC	39
3.5.2	Ventajas de la tecnología SDH	40
3.6	Comunicaciones Industriales	41
3.6.1	Telemetría, telecontrol y SCADA	43

PLC	47
Unidad terminal remota RTU	48
Unidad terminal maestra MTU	49
CAPÍTULO IV	
METODOLOGÍA	51
4.1 Descripción de la red troncal de PDVSA región centro	52
4.1.1 Red de telemetría metropolitana	53
4.1.2 Detalle de una estación remota de telemetría	53
4.1.3 Radio PDH Siemens CTR 216	55
4.1.4 Multiplexor MP 31/10 y MP 31-2	58
4.2 Migración de los servicios de telemetría	62
4.2.1 Multiplexor Alcatel Mainstreet 3600	62
Conexión a través del puerto serial	64
4.2.2 Identificación de tributarios	65
4.2.3 Traslado de los tributarios individuales	66
CAPÍTULO V	
RESULTADOS	69
5.1 Pruebas de conformidad	69
5.1.1 Medidor de errores en línea HP 4934A TIMS	69
5.2 Configuración definitiva de los servicios migrados	70
CONCLUSIONES	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Indicadores de alarma, errores y eventos en la trama E1	31
3.2	Significado de los bits en las tramas de jerarquías superiores	37
3.3	Correspondencia de bits y tiempo entre los niveles de las jerarquías PDH	37
3.4	Velocidades binarias con respecto a su factor de multiplicación	38

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Organigrama general de PDVSA	10
2.2	Organigrama de la gerencia de AIT	11
3.1	Porcentajes de inteligibilidad y energía en canales de voz	14
3.2	Esquema simplificado de los tres procesos fundamentales de la codificación PCM	16
3.3	Muestreo de una señal analógica	17
3.4	Cuantificación y ruido	18
3.5	Intervalos de cuantificación PCM (para $n = 8$)	19
3.6	Cuantificación uniforme	20
3.7	Cuantificación no uniforme	20
3.8	Compansión	22
3.9	Aproximación de 16 segmentos a la curva de la Ley-A	24
3.10	Codificación neutral y bipolar	25
3.11	Bits de control y señalización de la trama E1	28
3.12	Jerarquías PDH por región	34
3.13	Multiplexación de señales cuasi síncronas	35
3.14	Multiplexación PDH por niveles jerárquicos	36
3.15	Trama de 8 Mbps	36
3.16	Trama de 34 Mbps	36
3.17	Trama de 140 Mbps	36
3.18	Estructura fundamental de la trama SDH	39
3.19	Formación de contenedores virtuales	40
3.20	Esquema del flujo de información dentro de una red industrial moderna	43
3.21	Nivel operacional de un sistema integrado de automatización y control	45
3.22	Diagrama de bloques de un PLC	48
3.23	Configuración básica de una unidad terminal remota (RTU)	49
4.1	Red de transmisión metropolitana de PDVSA	52
4.2	Red de telemetría, área metropolitana	53
4.3	Detalle de interconexión de una estación maestra de telemetría	54

4.4	Detalle de la MTU de la estación El Junquito	55
4.5	Detalle del módem de la MTU, estación El Junquito	56
4.6	Vista externa del módulo transmisor, Siemens CTR 216	57
4.7	Vista externa del módulo receptor principal, Siemens CTR 216	58
4.8	Disposición de las unidades en el submódulo	59
4.9	Vista externa del módulo receptor principal, Siemens CTR 216	60
4.10	Instalación módulos Siemens; banco de canales y multiplexor	61
4.11	Multiplexor <i>Main Street 3600</i> nodo Campiña	64
4.12	Puertos de conexión serial al <i>Main Street 3600</i>	65
4.13	Situación previa de los canales a ser migrados	66
4.14	Cable multipar de 50 pares (fotografía referencial)	67
4.15	Banco de canales telefónicos del nodo <i>Mainstreet</i>	67
4.16	Conexión de dos tributarios individuales al nodo <i>Mainstreet</i>	68
5.1	Evaluación de las características de los canales en banda vocal	70
5.2	Configuración definitiva de los circuitos migrados dentro de la red troncal de PDVSA	71
5.3	Asignación de los tributarios correspondientes a los canales migrados	71

ACRÓNIMOS

ADC	<i>Analog to Digital Converter</i> (Convertidor analógico digital)
AIS	<i>Alarm Indication Signal</i> (Señal de indicación de alarma)
AIT	Automatización, Informática y Telecomunicaciones
AMI	<i>Alternative Mark Inversion</i> (Inversión alterna de marca)
ANSI	<i>American National Standards Institute</i> (Instituto nacional americano de estándares)
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> (Modo de transferencia asíncrona)
BER	<i>Bit error rate</i> (Tasa de bits errados)
BNZS	<i>Bipolar with N-Zeros Substitution</i> (Bipolar con sustitución de N ceros)
CAS	<i>Channel Associated Signaling</i> (Señalización de canal asociado)
CCITT	<i>Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony</i> (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico)
CCS	<i>Common Channel Signaling</i> (Señalización de canal común)
CONATEL	<i>Comisión Nacional de Telecomunicaciones</i>
CRC	<i>Cyclic Redundancy Check</i> (Comprobación de redundancia cíclica)
CTS	<i>Clear To Send</i> (Despejado para enviar)
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i> (Convertidor digital analógico)
DMA	<i>Direct Memory Access</i> (Acceso directo a memoria)

DS1	<i>Digital Signal 1</i>
DSR	<i>Data Set Ready</i> (Conjunto de datos preparado)
DTR	<i>Data Terminal Ready</i> (Terminal de datos preparado)
FAS	<i>Frame Alignment Signal</i> (Señal de alineación de trama)
GND	<i>Ground</i> (Tierra)
HDB3	<i>High Density Bipolar of order 3</i> (Bipolar de alta densidad de orden 3)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de ingenieros electricistas y electrónicos)
IF	<i>Intermediate Frequency</i> (Frecuencia intermedia)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo de Internet)
LAN	<i>Local Area Network</i> (Red de área local)
LOF	<i>Loss Of Frame</i> (Pérdida de trama)
LOM	<i>Loss Of Multiframe</i> (Pérdida de multitrama)
LOS	<i>Loss Of Signal</i> (Pérdida de señal)
MAIS	<i>Multiframe Alarm Indication Signal</i> (Señal de indicación de alarma en multitrama)
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i> (Red de área metropolitana)
MENPET	Ministerio de Energía y Petróleo
MFAS	<i>Multiframe Alarm Signal</i> (Señal de alarma en multitrama)
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i> (Conmutación de etiquetas multiprotocolo)

MRAI	<i>Multiframe Remote Alarm Indicator</i> (Indicador de alarma remota en multitrama)
MSOH	<i>Multiplex Section Overhead</i> (Encabezado de Sección de Multiplexación)
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i> (Unidad máxima de transmisión)
NFAS	<i>Non Facility Associated Signaling</i> (Señalización no asociada a la infraestructura)
OAyM	Operación, Administración y Mantenimiento
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i> (Modulación por pulsos codificados)
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i> (Jerarquía digital plesiócrona)
PDVSA	Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador lógico programable)
POH	<i>Path Overhead</i> (Encabezado de ruta)
PTR AU	<i>Pointer of Administrative Unit</i> (Puntero de Unidad Administrativa)
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> (Modulación de amplitud en cuadratura)
RAI	<i>Remote Alarm Indicator</i> (Indicador de alarma remota)
REBE	<i>Remote Extreme Block Error</i> (Error de bloque en extremo remoto)
RSOH	<i>Regenerating Section Overhead</i> (Encabezado de sección de regeneración)
RTS	<i>Request To Send</i> (Solicitud de envío)
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i> (Unidad terminal remota)

SCADA	<i>Supervisory Control And Data Adquisition</i> (Control supervisorio y adquisición de datos)
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i> (Jerarquía digital síncrona)
SDR	<i>Signal to Distortion Ratio</i> (Relación señal-distorsión)
SISCO	Sistema Integral de Supervisión de Centro Occidente
SISUGAS	Sistema de supervisión de gas
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i> (Relación Señal Ruido)
SONET	<i>Synchronous Optical Network</i> (Red óptica sincrónica)
SS7	<i>Signaling System 7</i> (Sistema de señalización número 7)
STM	<i>Synchronous Transport Module</i> (Módulo de transporte síncrono)
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i> (Multiplexación por división de tiempo)
TIMS	<i>Transmission Impairment Measurement Set</i> (Equipo de medición de afectación en la transmisión)
TMN	<i>Telecommunications Management Network</i> (Red de gestión de telecomunicaciones)
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> (Ultra alta frecuencia)
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VC	<i>Virtual Container</i> (Contenedor Virtual)
WAN	<i>Wide Area Network</i> (Red de área amplia)
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> (Red local inalámbrica)

INTRODUCCIÓN

La infraestructura y los servicios de telecomunicaciones se han convertido en un componente crítico e indispensable en el funcionamiento de las empresas, organizaciones y gobiernos actuales. A tal punto que no es posible concebir a alguna de estas entidades que no se apoye en un uso masivo de una gama de tecnologías, sistemas y redes que soporten el tráfico de distintos tipos de servicios, cada uno de ellos con características y exigencias diversas, cada uno de ellos planteando retos específicos de diseño, implementación y operación.

Un caso particular es el de las empresas dedicadas a la extracción, procesamiento, comercialización, transporte y distribución de hidrocarburos. Éstas, en consonancia con la magnitud de sus operaciones, la extensión de su ámbito geográfico de acción, así como con los montos financieros asociados a tales actividades, se ven en la necesidad de instalar, mantener, operar y eventualmente ampliar y migrar, amplias y robustas redes de transmisión de voz, datos y video. Satisfaciendo distintas exigencias en cuanto a ancho de banda, retardo, disponibilidad y calidad de servicio; en apoyo a la toma de decisiones a nivel directivo, a las tareas administrativas y de negocios en el ámbito gerencial, y muy especialmente a los procesos operativos industriales que conforman el núcleo fundamental de sus actividades.

Petróleos de Venezuela S.A. ([PDVSA](#)) y sus empresas filiales, es una corporación estatal propiedad de la República Bolivariana de Venezuela, creada por el estado venezolano a raíz de la nacionalización de la industria petrolera, en cumplimiento de la Ley Orgánica que reserva al estado, la explotación y el comercio de Hidrocarburos (Ley de Nacionalización). Sus operaciones son controladas por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo ([MENPET](#)). Actualmente, según el volumen de sus ingresos, se encuentra ubicada entre las 50 empresas más grandes del mundo [1].

La red de telecomunicaciones de [PDVSA](#) transporta información de diversa índole, y por tanto presenta distintos requerimientos en cuanto a ancho de banda, retardo, calidad de servicio, tiempo de acceso y disponibilidad. Uno de los tipos de datos más críticos son los originados por el sistema telemetría asociado a estaciones de bombeo de gas; los cuales presentan modestas exigencias en cuanto a ancho de banda, pero muy estrictos parámetros de disponibilidad y continuidad de servicio.

Actualmente la empresa se encuentra en un proceso de actualización de su red de telecomunicaciones, y de migración de los servicios que ésta soporta, hacia nuevas tecnologías que provean mejores prestaciones, mayor flexibilidad y más amplias capacidades de administración y gestión.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño de un esquema de canalización y multiplexación que permita migrar y actualizar los servicios de telecomunicaciones que dan soporte a la transmisión de datos de telemetría, así como la descripción y documentación del proceso de implementación del esquema propuesto, dentro de la red troncal de [PDVSA](#) región centro.

Este volumen, en el cual se describe en forma pormenorizada tanto los aspectos metodológicos, como los aspectos de índole práctico del trabajo realizado, está estructurado de la siguiente forma;

El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, describiendo con detalle la necesidad que se requería solventar. Se exponen en este capítulo las justificación y los antecedentes que sustentan la realización de este trabajo. Los objetivos generales y específicos también se presentan aquí. Se incluye una introducción a la topología de la red troncal de [PDVSA](#) región centro, haciendo específico énfasis en el soporte que ésta presta a la transmisión y el transporte de información asociada a puntos de telemetría de estaciones de gas.

El capítulo II consiste en una reseña, a modo de introducción, de la empresa en la cual se realizó la pasantía; se presenta un esbozo histórico de la misma, se exponen su misión, su visión, así como sus objetivos. Se presenta también la estructura organizativa de la gerencia y departamentos involucrados.

El capítulo III tiene como finalidad exponer el basamento teórico conceptual que sustenta a las tecnologías y sistemas que fueron empleadas en el desarrollo las actividades aquí se exponen. Se parte desde los conceptos de base fundamentales, y se sigue la evolución de los mismos hasta la conformación de complejas y robustas tecnologías de multiplexación y transmisión características de las modernas redes de telecomunicaciones. Se incluyen en este capítulo los protocolos de estandarización que definen y rigen las tecnologías de interés, como norma definitiva para la implementación e interoperabilidad de las mismas, así como para la verificación de la conformidad de su funcionamiento. Se da también aquí una breve reseña de las telecomunicaciones industriales, específicamente en cuanto a lo relativo a telemetría y supervisión remota de procesos industriales complejos y ampliamente distribuidos geográficamente.

En el capítulo IV se documentan en forma pormenorizada las actividades prácticas llevadas a cabo; se hace un registro fotográfico reseñado de las instalaciones y equipos de trabajo, se describe el proceso de instalación física de los equipos asignados, de su interconexión y comunicación con el equipamiento de transmisión, a objeto de su integración a la red, así como de su configuración y puesta a punto.

En el capítulo V se presentan los resultados de las pruebas de conformidad realizadas al canal de comunicación creado, luego de configurado el mismo y de ser llevada a cabo la integración descrita en el capítulo precedente. Se describen estas pruebas con detalle, se incluyen las normas y estándares que determinan las realización de las mismas, así como los valores aceptados por éstas. Se dan las especificaciones técnicas del equipamiento utilizado y se presentan los valores alcanzados. Se expone también en este capítulo una propuesta técnica para la optimización de la red troncal, específicamente en la capa de acceso que canaliza los servicios de telemetría, la cual fue elaborada en base a la experiencia obtenida durante la implementación, así como en función de las características del equipo asignado.

Se presentan en último lugar las conclusiones obtenidas luego de la documentación teórica, de la recopilación de la información y de los datos concretos de la topología de red en base a la cual se trabajó, y específicamente de la experiencia obtenida en la implementación que se describe con detalle. Se presentan las conclusiones específicas, relativas a la situación particular bajo estudio. Se presentan además conclusiones de alcance más amplio, las cuales abarcan un espectro de aplicación más general.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La red troncal de telecomunicaciones de PDVSA región centro, está compuesta en su mayor parte por radio enlaces de microondas, los cuales soportan el tráfico de diversas tecnologías de transmisión (PDH, SDH, Metro Ethernet). Entre el tipo de datos más crítico que soporta esta red, se encuentra la información de telemetría de válvulas de gas proveniente del sistema SISCO (sistema integral de supervisión de centro occidente), asociado al monitoreo de variables físicas en un poliducto en esa región del país. Actualmente la información proveniente de ese sistema se canaliza a través de un banco de canales TDM en tecnología PDH, que se encuentra en la sede central de PDVSA en La Campiña, Caracas.

Gracias al avance tecnológico, los sistemas de transporte TDM han evolucionado hacia sistema síncronos (SDH), que proporcionan una mayor flexibilidad, y una superior capacidad de gestión, operación y mantenimiento. Debido a ello, existe interés en migrar hacia otras tecnologías (IP, SDH) los servicios de telemetría que actualmente hacen uso de equipos PDH, con vistas a un eventual abandono total de esta tecnología.

Para este fin específico, la gerencia AIT (automatización, informática y telecomunicaciones) de PDVSA región centro, responsable de la migración, ha asignado un número de equipos marca ALCATEL modelo *Main Street 3600*; conmutadores y multiplexores que soportan diversas tecnologías de conmutación y transmisión, los cuales presentan características técnicas que han sido considerados apropiadas para el objetivo que se persigue.

Se plantea entonces el estudio de la situación del banco de canales que soporta el tráfico de información de telemetría, la proposición de un nuevo esquema de canalización y multiplexación que permita la migración de tales servicios a nuevas tecnologías.

El estudio de la configuración de tal esquema empleando los equipos destinados a tal fin, la implementación del mismo, y la ulterior evaluación de los servicios migrados.

En particular se ha buscado encontrar respuesta a las siguientes interrogantes: ¿cuál era la situación del sistema de transporte que soporta los servicios de telemetría?, ¿cuál es el esquema más adecuado para canalizar y multiplexar tales servicios empleando nuevas tecnologías (SDH)?, ¿cuál es la forma de configuración y operación del equipo ALCATEL modelo *Main Street 3600*, que permita realizar la tarea que se persigue?, ¿qué ventajas presenta la implementación de tal esquema?, y en definitiva; ¿qué dificultades surgieron durante todo el proceso y qué lecciones se han aprendido durante el mismo?.

1.1. Antecedentes y justificación

Las actividades realizadas en el marco del presente trabajo de grado se inscriben en las labores desempeñadas por el departamento de transmisión perteneciente a la gerencia AIT (automatización, informática y telecomunicaciones), de la corporación PDVSA, el cual tiene como función el garantizar la continuidad operativa en la plataforma tecnológica de todos los radioenlaces de microondas en redes troncales y redes secundarias en la localidad de Caracas y Vargas, así como los radios móviles operacionales, telemetría de válvulas de gas y circuito radial PDVSA a nivel nacional.

La red y la infraestructura que dan soporte a tales actividades, está compuesta por ocho (8) estaciones de telecomunicaciones, cincuenta y una (51) localidades y edificios administrativos y diecisiete (17) estaciones de telemetría de PDVSA GAS.

Se impone por tanto, dada la magnitud e importancia de las operaciones soportadas, un estudio detallado, un adecuado planeamiento y una implementación cuidadosa y supervisada de toda mejora o actualización que sea propuesta y que se pretenda implementar.

1.2. Objetivo general

Diseñar un esquema de canalización y multiplexación que permita migrar y actualizar los servicios de telecomunicaciones existentes que dan soporte a la transmisión de datos de telemetría en la red troncal de [PDVSA](#) región centro.

1.3. Objetivos específicos

- (a) Realizar un estudio documental de los fundamentos teóricos que sirven de base a las tecnologías a ser empleadas, particularmente de los métodos estandarizados de multiplexación digital, sus diversas jerarquías, así como de los pormenores relacionados con la conformación y transmisión de los canales de datos que las componen.
- (b) Describir los aspectos prácticos relacionados con el manejo, configuración y operación de los equipos de canalización y multiplexación digital que prestan servicio en la red troncal de [PDVSA](#).
- (c) Analizar la topología de la red troncal de [PDVSA](#) región centro, tanto a nivel físico como lógico, haciendo énfasis en el soporte que ésta ofrece para el adecuado funcionamiento del sistema de telemetría y adquisición remota de datos.
- (d) Proponer un esquema de canalización y multiplexación para los servicios de transmisión de datos asociados a telemetría, que permita su migración y actualización dentro de la red troncal de [PDVSA](#) región centro.
- (e) Realizar una evaluación comparativa entre los servicios que en apoyo a la transmisión de datos asociados a telemetría, ofrece actualmente la red troncal de [PDVSA](#) región centro, y aquellos que resulten del esquema de canalización y multiplexación planteado en el trabajo que aquí se expone. Teniendo en cuenta a tal efecto aspectos tales como disponibilidad, tiempo de acceso, interoperabilidad y otros que se consideren oportunos.

CAPÍTULO II

RESEÑA DE LA EMPRESA

2.1. Presentación de la empresa

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA) y sus empresas filiales, es una corporación estatal propiedad de la República Bolivariana de Venezuela, creada por el estado venezolano a raíz de la nacionalización de la industria petrolera, en cumplimiento de la Ley Orgánica que reserva al estado, la explotación y el comercio de Hidrocarburos (Ley de Nacionalización). Sus operaciones son controladas por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo (MENPET). Actualmente, según el volumen de sus ingresos, se encuentra ubicada entre las 50 empresas más grandes del mundo [1].

2.1.1. Actividades a las que se dedica

Según la página web oficial de petróleos de Venezuela (www.pdvsa.com):

“Petróleos de Venezuela S.A. es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de motorizar el desarrollo armónico del país, afianzar el uso soberano de los recursos, potenciar el desarrollo endógeno y propiciar una existencia digna y provechosa para el pueblo venezolano, propietario de la riqueza del subsuelo nacional y único dueño de esta empresa operadora.”

2.1.2. Reseña histórica

A raíz del cumplimiento de la Ley Orgánica que reserva al Estado la industria y el comercio de los hidrocarburos de 1975, fue creada y nacionalizada la Corporación. En la Constitución de 1999, se indica que el Estado debe mantener la soberanía de los hidrocarburos que se encuentran en subsuelo venezolano y no deben ser cedidas a particulares, sin embargo, la empresa puede asociarse y entregar concesiones para la prestación de servicio asociados a sus productos que labora y a las actividades que le son propias.

2.1.3. Misión

Es una empresa estratégica del estado venezolano que se encarga de la exploración, producción, comercio y suministro de hidrocarburos. También es corresponsable de la transformación de la Nación, comprometida con la defensa de la soberanía energética y el deber de agregar el mayor valor posible al recurso petrolero, guiados por los principios de unidad de comando, trabajo en equipo, colaboración espontánea y uso eficiente de los recursos.

2.1.4. Visión

Ser una empresa socialista que contribuya al desarrollo nacional y por consecuencia a la seguridad de la nación, y de todo lo que ello implica, a través del beneficio generado con la comercialización de sus productos y sus aportes al fisco nacional. Unido a todo lo anterior, existe todo un ámbito de corresponsabilidad que viene dado por la nueva visión que tiene **PDVSA** al relacionarse con su entorno y darle preponderancia al pueblo venezolano como propietario del petróleo y receptor final de los beneficios que producen los hidrocarburos y sus derivados. Tanto las comunidades, como las cooperativas y la principal industria del país se unen para integrarse dentro de los programas y proyectos, dentro de un ambiente de cooperación y pro-actividad.

2.1.5. Objetivos de la Organización

El objetivo central de [PDVSA](#) es la valorización del recurso natural, el petróleo, que es un bien común de los venezolanos y la principal riqueza de la nación venezolana. En consecuencia, la conformación organizativa de la empresa debe responder a ese objetivo.

De acuerdo a los lineamientos internos de la Industria Petrolera venezolana, entre los objetivos específicos se encuentran:

- Desarrollar tecnologías que permitan incrementar el factor de recobro.
- Generar soluciones tecnológicas integrales a la medida de los negocios, con especial énfasis en crudos pesados y extra pesados.
- Apoyar el desarrollo de Gas Costa Afuera en el país.
- Impulsar y garantizar la correcta gestión ambiental de las operaciones de [PDVSA](#).
- Desarrollar tecnologías de refinación dirigidas a procesar dietas de crudos pesados.
- Fortalecer las relaciones de cooperación en las áreas de ciencia y tecnología entre [PDVSA](#), las universidades y otras instituciones, para elaborar propuestas de valor.
- Establecer nuevos esquemas para adoptar tecnologías de punta.
- Fortalecer la explotación en áreas cercanas a desarrollos actuales.
- Apalancar el desarrollo endógeno sostenible.
- Cerrar brechas para garantizar el logro de objetivos.

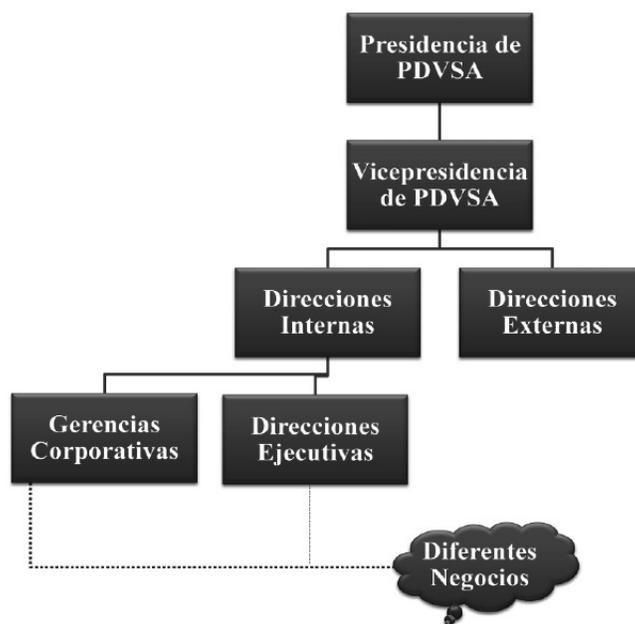


Figura 2.1: Organigrama general de *PDVSA*

2.1.6. Organigrama general de la Empresa

El mayor nivel de jerarquía del organigrama general de Petróleos de Venezuela, S.A es la Presidencia, seguidamente en el segundo eslabón del organigrama están la Vicepresidencia de Exploración y Producción y la Vicepresidencia de Refinación. Las Direcciones Internas y Externas son el tercer eslabón del organigrama de la empresa y conjuntamente con la Presidencia y las Vicepresidencias forman parte de la Junta Directiva de Petróleos de Venezuela. En el cuarto eslabón se conforman las Direcciones Ejecutivas y las Gerencias Corporativas de las cuales se forman los diferentes negocios del organigrama de Petróleos de Venezuela, S.A. (ver Figura 2.1).

2.1.7. Organigrama del Departamento donde se realizó la Pasantía

La Dirección Ejecutiva de *AIT* es la encargada de la automatización, informática y las telecomunicaciones dentro de la estructura de *PDVSA*.

En el árbol organizacional de esta dirección se desprenden en su segundo eslabón las Gerencias Funcionales por regiones, las cuales desempeñan un papel operativo o

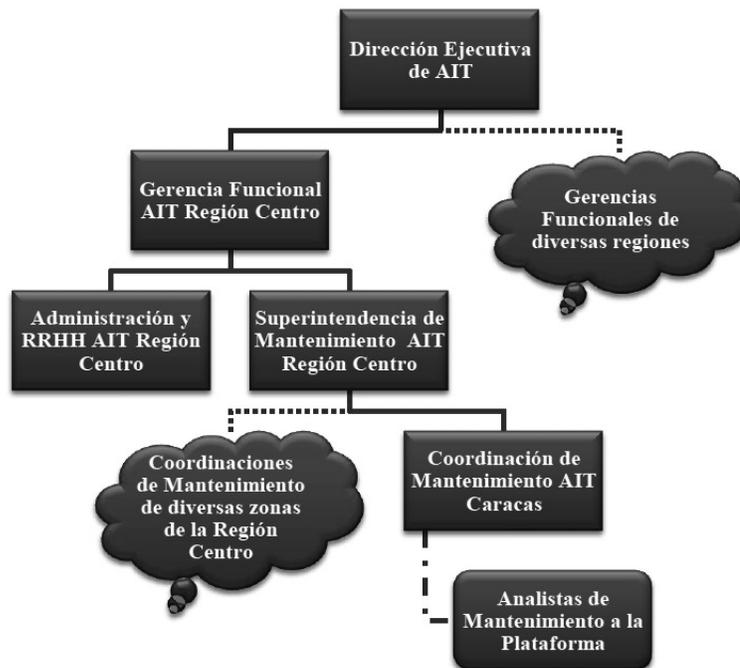


Figura 2.2: Organigrama de la gerencia de AIT

administrativo por territorio definido. Las actividades relativas a este trabajo especial de grado fueron llevadas a cabo en la Gerencia Funcional AIT Región Centro bajo la figura de Analista de Mantenimiento a la Plataforma, el cual forma parte del último eslabón de la estructura organizativa de la Dirección Ejecutiva de AIT (ver Figura 2.2).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

El presente capítulo tiene por objeto el presentar, de manera sucinta y concisa, el basamento teórico conceptual que soporta la investigación y el desarrollo del que son objeto el presente trabajo de grado. A tal fin se realiza una exposición de las técnicas y tecnologías que subyacen en la implementación de base de la situación originalmente presentada, así como aquellas que fueron empleadas y puestas en práctica en el desarrollo de la solución planteada.

Se hace aquí una exposición y revisión de conceptos esenciales tales como el proceso de conversión analógico-digital, muestreo, cuantificación y codificación que sirve de base a la modulación por pulsos codificados **PCM**, así como de la técnica agrupamiento de diversos flujos y canales de datos a objeto de aumentar la capacidad de transmisión de información en base a la multiplexación por división de tiempo **TDM**. Se presenta también la portadora digital E1, incluyendo su proceso de estructuración, así como sus mecanismos de señalización, además de su uso como base para la conformación de jerarquías superiores.

Luego se exponen las tecnologías de multiplexación digital plesiócrona (**PDH**) y síncrona (**SDH**); se examinan su formas de funcionamiento y los procedimientos que las estructuran, así mismo se presentan y examinan los estándares que las definen, haciendo énfasis en los mecanismos de gestión, control y supervisión que éstos contemplan.

Se revisan por último, a modo indicativo, técnicas y conceptos básicos de adquisición de datos y telecomunicaciones industriales, tales como telemetría y **SCADA**. En este punto se hace especial énfasis en los protocolos y estándares generalmente aceptados y de uso más difundido en la industria.

3.1. Modulación por pulsos codificados PCM

La modulación por pulsos codificados (PCM) es una técnica que permite la representación digital de señales que son analógicas por naturaleza. En esta técnica, la amplitud de una señal es muestreada a intervalos regulares, luego, cada muestra es cuantizada al valor más cercano dentro de un rango de valores discretos, los cuales son representados luego de forma binaria.

La información contenida en una señal analógica es transportada por el valor o la magnitud de alguna (o varias) de las características de la señal, tales como la amplitud, la frecuencia o fase de la tensión, la dirección de un impulso o la magnitud de alguna variable física. A fin de extraer esta información es necesario comparar el valor o la magnitud con alguna referencia estándar. El contenido de información de una señal digital es referido a estados discretos de ésta, tales como presencia o ausencia de voltaje, la posición abierta o cerrada de un contacto o la pendiente positiva o negativa de una variable. El significado de la señal viene dado en base a la asignación de valores numéricos u otra información a las diversas combinaciones posibles de estados discretos.

La principal ventaja de la modulación por pulsos codificados PCM radica en el carácter digital de la forma de onda generada, la cual es menos susceptible al ruido y a la interferencia que las señales analógicas. Esto es debido que, a fin de extraer la información contenida en ellas, las ondas digitales no requieren ser reproducidas en la forma exacta en que fueron generadas. Su baja susceptibilidad al ruido permite que las señales PCM puedan ser transmitidas, regeneradas y amplificadas, a distancias mucho mayores que sus contrapartes analógicas, sin degradación, distorsión ni pérdida de información.

3.1.1. El canal vocal

Los equipos de transmisión empleados en los modernos sistemas de telecomunicaciones, aparte del telefónico, están en su mayoría proyectados para funcionar en la banda de frecuencia de uno o varios canales de voz o en una fracción de éste.

La definición exacta de canal vocal puede variar según sea la utilización que se haga de él o según los requisitos que se le impongan. No obstante, a pesar de la gran variedad de usos y a la diversa calidad de los sistemas de transmisión empleados, los canales vocales tienen un común denominador: todos se determinan primordialmente de acuerdo con las características de la voz y oído humanos.

La calidad de un canal telefónico puede medirse en función del grado de inteligibilidad y del nivel de intensidad con que se escuchan los sonidos que se transmiten por el canal. La energía de la voz, es decir, su intensidad, se concentra casi toda en la gama de frecuencias bajas, mientras que la inteligibilidad viene determinada por las componentes a frecuencias altas. Si no se transmitiera las frecuencias inferiores a 1 kHz, la inteligibilidad en el extremo receptor sería del 86 % pero la intensidad caería al 17 %. Por otro lado, si sólo se transmitiera las frecuencias inferiores a 1 kHz, la inteligibilidad sería del 42 % y la intensidad del 83 %, como se puede apreciar en la Figura 3.1.

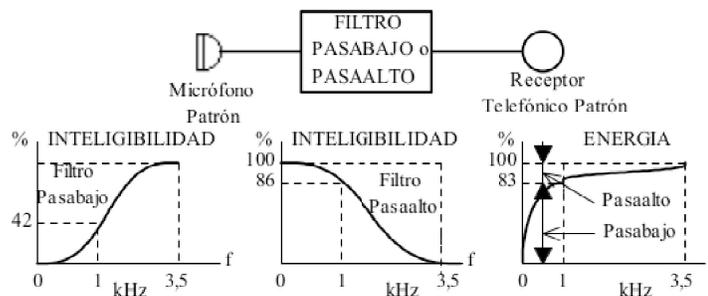


Figura 3.1: Porcentajes de inteligibilidad y energía en canales de voz

Por tanto, el canal vocal debe permitir el paso de componentes tanto de bajas como de altas frecuencias, siendo por tanto necesario alcanzar un compromiso debido a la limitada disponibilidad de ancho de banda; como resultado, se ha establecido un canal de aproximadamente 3 kHz de ancho. Por lo general, la banda de transmisión del canal de voz abarca aproximadamente de 300 a 3300 Hz.

Estadísticamente se ha determinado que una conversación normal contiene un 75 % de redundancia; por tanto cualquier pérdida puntual de alguna sílaba o incluso de una palabra, durante el transcurso de una conversación telefónica, puede ser deducida por el interlocutor en base al contexto en el cual se inserta la frase. Por tanto, los

requisitos de transmisión de voz son mucho menos estrictos que en otras formas de transmisión.

En la transmisión de datos el ancho de banda necesario del canal aumenta en relación directa con la velocidad de transmisión. La transmisión de datos a alta velocidad puede ocupar un ancho de banda equivalente a muchos canales de voz; de hecho, el canal para transmitir la voz digitalizada (a 64 kbps) es el canal de base de todos los sistemas digitales de alta velocidad modernos, como se verá más adelante. Cuando un sistema de transmisión digital funciona por un canal de voz, la información puede enviarse a una velocidad que puede llegar hasta los 14400 bps con una velocidad de modulación máxima de 2400 baudios. Con métodos de codificación y modulación más sofisticados y con técnicas de control de error y compresión de datos, se puede alcanzar velocidades muy superiores.

3.1.2. Conformación del flujo PCM

La modulación por pulsos codificados es una técnica estandarizada y de amplio uso en el sistema telefónico, para transformar una señal analógica (en este caso contenida en la banda vocal). La señal analógica es en primer lugar muestreada a una frecuencia de muestreo específica (8 kHz en el caso de la red telefónica) que resulte conveniente según las características de la señal analógica original. Luego cada una de las muestras obtenidas es cuantizada en niveles que van desde 1 a 256, para finalmente ser codificada en palabras digitales de 8 bits, este proceso se esquematiza en la figura 3.2.

Previo a la conversión de una señal analógica en una representación digital de la misma, se requiere su adaptación; lo que comprende en primer lugar una posible amplificación de sus niveles de amplitud, así como una discriminación de sus componentes espectrales, es decir un filtrado en frecuencia. Ambos pasos son realizados en el dominio analógico.

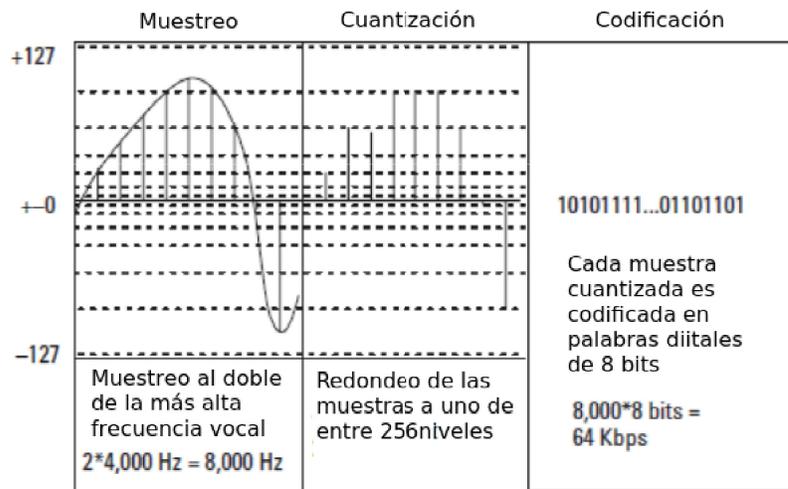


Figura 3.2: Esquema simplificado de los tres procesos fundamentales de la codificación PCM

3.1.3. Muestreo

Durante el proceso de muestreo, la señal analógica, con su característica intrínseca de poseer valores definidos continuos en el tiempo, es convertida a una representación en la cual su valor se conoce únicamente en puntos discretos de tiempo, conocidos como instantes de muestreo. Si estos puntos se encuentran lo suficientemente cercanos, una curva “suave” que pase a través de ellos permitirá interpolar los valores intermedios con cierto grado de precisión (Teorema de Shannon). Es posible por tanto, decir que una curva continua puede ser adecuadamente descrita (dentro de cierto rango de precisión) únicamente por muestras de la misma definidas en instantes discretos de tiempo.

Si la frecuencia f_s de muestreo es dos veces mayor que la componente de mayor frecuencia, B , de la señal, entonces ésta puede ser completamente descrita únicamente por sus muestras en estos instantes de tiempo. Esto es, $f_s > 2B$. Esta frecuencia mínima de muestreo se conoce como frecuencia de Nyquist. El tiempo de muestreo T_s es:

$$T_s = \frac{1}{f_s} < \frac{1}{2B} \quad (3.1)$$

y $\frac{1}{2B}$ es el tiempo de muestreo máximo.

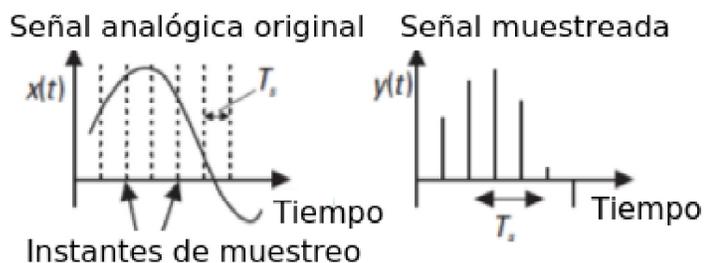


Figura 3.3: Muestreo de una señal analógica

3.1.4. Cuantificación

A objeto de transmitir un conjunto de valores muestreados a través de un sistema digital, cada una de las muestras debe ser representada en forma numérica. Esto exige que se lleve a cabo un proceso de cuantificación, donde cada una de los valores exactos de las muestras es redondeado al valor numérico más cercano dentro de un conjunto de valores dado.

En general, la cuantificación transforma un conjunto infinito de amplitudes en un conjunto finito de N amplitudes; como consecuencia, después de la conversión la señal $x(t)$ nunca podrá ser recuperada exactamente en su forma original (aún en el caso de que el ruido de transmisión sea nulo) debido al denominado “ruido de cuantificación”. En efecto, el proceso de cuantificación introduce una cantidad inicial de distorsión, la cual es inherente al sistema pero que puede ser controlada y hecha tan pequeña como se requiera, dependiendo del número de niveles de cuantificación elegidos. Esto significa que la señal original puede aproximarse mediante una señal que se construye a partir de un conjunto disponible de amplitudes discretas elegidas sobre una base de error mínimo. La existencia de un número finito de niveles de amplitud discreta es una condición básica en **PCM**. Como se estableció anteriormente, si se asignan niveles de amplitud discreta con un espaciamiento lo suficientemente pequeño, se puede lograr que la señal cuantificada prácticamente no se distinga de la señal original.

Mientras mayor es el número de niveles de cuantificación que se empleen, mayor será la exactitud, y por tanto mejor será el desempeño obtenido del sistema. Para una codificación binaria, el número de niveles de cuantificación es $q = 2^n$, donde q denota el número de niveles de cuantificación y n es la longitud en bits de las palabras-código binarias que describen los valores muestreados.

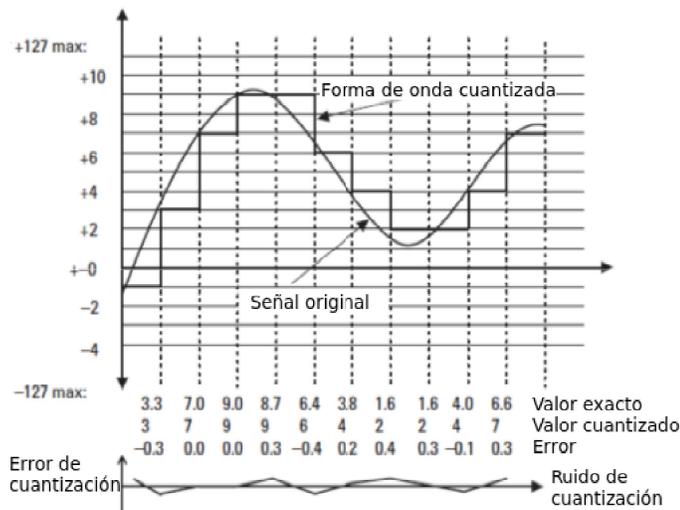


Figura 3.4: Cuantificación y ruido

Error de cuantificación

Dado que el muestreo del valor de los valores temporales de la señal de interés se realiza con cierta precisión determinada, la longitud del número binario asociado a una muestra estará directamente determinado por esta precisión. Mientras más precisa sea la medición efectuada, de mayor importancia resultará el número de elementos binarios correspondientes a la muestra.

La anchura de cada intervalo de cuantificación es el cociente entre el valor pico-pico de la entrada y el número de intervalos de cuantificación. Por tanto, cuando la escala de medida es lineal (ver figura 3.5), el valor Δ de cada escalón es :

$$\Delta = \frac{V_{pp}}{2^n} \quad (3.2)$$

El límite inferior de la elección del valor de Δ estará dado por el desempeño de la tecnología empleada.

La cuantificación es el procedimiento que convierte a la gama infinita de valores del rango dinámico de la muestra en un número finito (discreto) de valores-segmento (intervalos de cuantificación) y a cada uno de ellos le asigna un nivel o valor de cuantificación.

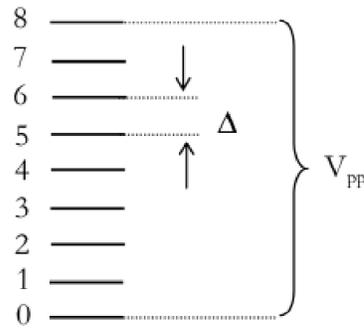


Figura 3.5: Intervalos de cuantificación *PCM* (para $n = 8$)

En la práctica, la cuantificación se efectúa con operaciones de decisión. El circuito de decisión determina si la señal o valor de una muestra supera o no un nivel de decisión dado y, de acuerdo con esto, los clasifica en uno u otro intervalo de cuantificación.

Dos niveles de decisión adyacentes circunscriben a un intervalo de cuantificación, en el cual todos los niveles posibles de la señal serán representados o reemplazados por el nivel de cuantificación.

La distorsión introducida por la diferencia entre el valor exacto de la muestra y el valor cuantificado, se denomina error de cuantificación e , de tal manera que $e \leq \Delta/2$.

Cuantificación uniforme y no uniforme

La cuantificación es uniforme cuando los niveles de cuantificación están espaciados uniformemente, es decir, cuando los pasos de la función de cuantificación, como la que se muestra en la figura 3.6 tienen la misma altura.

En algunas aplicaciones, tales como telefonía y procesamiento de imágenes, resulta conveniente cuantificar los valores pequeños de la señal de entrada de una forma más “granular”, es decir, con un mayor número de niveles de cuantificación con respecto a los niveles altos de la señal de entrada, tal situación se ilustra en la figura 3.7

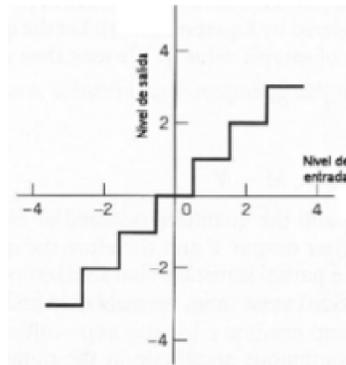


Figura 3.6: *Cuantificación uniforme*

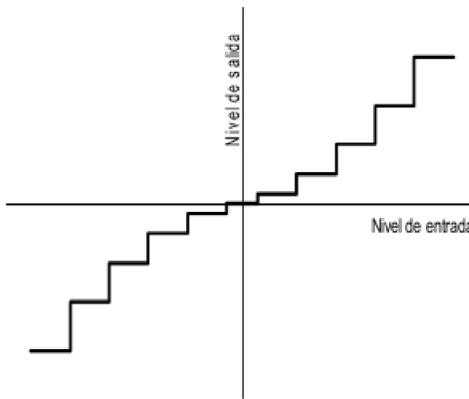


Figura 3.7: *Cuantificación no uniforme*

La mejora en la distorsión de la cuantización obtenida al doblar el número de intervalos de cuantificación, puede ser determinada en base a la relación (3.2), en la forma siguiente;

$$20 \log \frac{\Delta}{\Delta/2} = 20 \log \frac{V_{pp}/2^n}{V_{pp}/2^{n+1}} = \frac{2^{n+1}V_{pp}}{2^n V_{pp}} = 20 \log 2 \approx 6 \text{ dB} \quad (3.3)$$

Lo cual es válido solamente para la cuantificación lineal. De esta manera, incrementando el número de pasos por una cantidad fija determinada, se reduce la distorsión de cuantificación proporcionalmente.

La cuantificación lineal no es una solución óptima dado que para los valores bajos de la señal de entrada, la relación señal-ruido resulta demasiado baja. Mientras que para altos niveles de señal de entrada, y dado que el ruido de cuantificación permanece

constante, debe tolerarse en este caso un alto nivel de ruido. Por tanto, han debido ser definidos niveles de cuantificación de tal manera que su desempeño resultase aceptable sobre un amplio rango dinámico.

En este sentido, la transmisión vocal representa un problema, al tener un amplio rango dinámico; en el orden de los 50 dB. Esto es, el rango que va desde los niveles volumen más altos hasta los más bajos. Empleando cuantificación lineal, se requerirían 2048 pasos discretos de cuantificación para lograr cierta fidelidad en la reproducción. Puesto que 2048 es 2^{11} , esto significa que se necesitaría un código de 11 bits. Tal código, asumiendo una velocidad de muestreo de 8000 muestras por segundo (la necesaria para la banda vocal, ver sección 3.1.3), requeriría una velocidad de transmisión de datos de 88.000 bps, la cual obviamente resulta demasiado alta, requiriendo también por tanto un alto ancho de banda para su transmisión (88 kHz es este caso, asumiendo 1 bit por Hz, aunque este factor está sujeto al tipo de modulación empleada).

Compansión

Como se ha dicho, en un sistema PCM lineal el tamaño de cada intervalo de cuantificación está determinado por los niveles de la relación SNR requeridos por los niveles de señales más bajos a ser codificados. Al ser lineal, estos mismos pasos de cuantificación también se mantienen para los valores mayores de la señal, los cuales tienen mucho mejor (mayor) relación SNR.

Una manera más eficiente de realizar la codificación se consigue si los intervalos de cuantificación se incrementan con los valores de las muestras. Cuando el intervalo de cuantificación es directamente proporcional al valor de la muestra (se asignan pequeños intervalos de cuantificación a los niveles bajos de la señal e intervalos más espaciados para los valores de señal mayores), la relación SNR puede mantener constante para todos los niveles de señal. Al emplear esta técnica, menos bits por muestra se requieren para alcanzar una relación SNR específica para los niveles de señal bajos y un adecuado rango dinámico para los niveles altos. En este caso, los niveles de cuantificación no son constantes y por tanto no existirá una relación lineal entre las palabras-código y los valores que ellas representan.

Para producir una cuantificación no lineal, la señal en banda base debe pasar a través de un amplificador no lineal con características de entrada-salida como las mostradas en la figura 3.8. Las señales de bajo nivel resultan amplificadas mientras que las de alto nivel resultan atenuadas. Mientras mayor es el valor de la muestra, mayor resulta el nivel de compresión aplicado. En el lado de recepción se aplica el procedimiento inverso, expandiendo por tanto los valores previamente comprimidos mediante la aplicación de una curva con las características inversas, a fin de recuperar la forma original de la señal. Al proceso de compresión y expansión se le conoce por tanto como compansión.

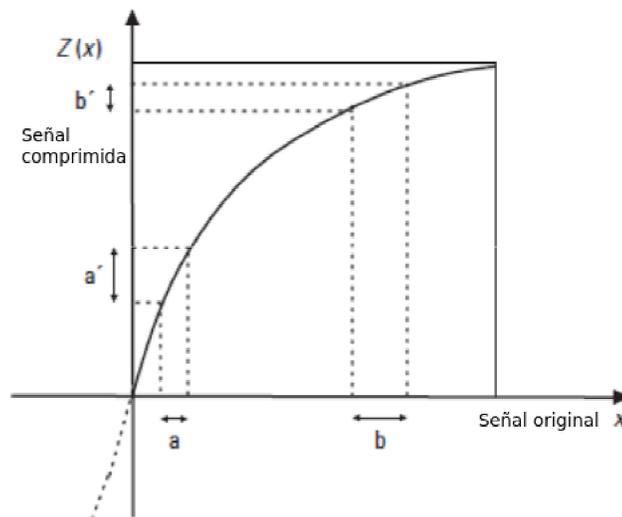


Figura 3.8: *Compansión*

Existen dos esquemas de compansión de uso en las redes de telecomunicaciones; conocidos ley- μ y como ley-A, los cuales se describen a continuación.

Ley- μ

Las funciones de compresión y de posterior expansión son de tipo logarítmico. Una curva semi logarítmica compuesta de segmentos lineales confiere granularidad fina a las señales de bajo nivel y menos granularidad a las señales de nivel más alto. La curva correspondiente a la ley- μ viene dada por la fórmula;

$$Z(x) = \text{sgn}(x) \cdot \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)} \quad (3.4)$$

donde x es la amplitud de la señal de entrada y $\mu = 100$ para el sistema T1 (DS1) de origen estadounidense, definido por la recomendación UIT G.733; ver [2] y [3].

Ley-A

Por otra parte, la ley-A está definida como:

$$Z(x) = \begin{cases} \frac{A|x|}{1 + \ln(A)} & \text{para } 0 \leq |x| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln |Ax|}{1 + \ln(A)} & \text{para } \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases} \quad (3.5)$$

Una expresión comúnmente utilizada al estudiar la calidad de una señal PCM es la relación señal-distorsión (SDR, expresada en dB). Los parámetros A y μ , de las correspondientes técnicas de compansión, determinan el rango sobre el cual la relación señal-distorsión es comparativamente constante; alrededor de 26 dB. Para la ley-A, se puede esperar una relación SDR=37,5 dB ($A=87,6$), mientras que en el caso de la ley- μ un valor típico es SDR=37 dB (para $\mu=255$) [4].

3.1.5. Codificación

Durante el proceso de codificación se asigna a cada uno de los niveles cuantificados un correspondiente y único código binario. En la práctica, los procesos de cuantificación y codificación se llevan a cabo en forma simultánea, por un único circuito ADC (*Analog to Digital Converter*; convertidor digital analógico), llevándose a cabo el proceso inverso en el extremo receptor mediante un DAC (*Digital to Analog Converter*; convertidor analógico digital).

Adicionalmente, previo a su transmisión a través de algún canal apto para ello (con sus correspondientes características de ancho de banda, atenuación, retardo, dispersión, ruido, interferencia, etc) y con el posible empleo de algún mecanismo de modulación digital, se realiza un proceso de codificación de línea, el cual hace más robusta la transmisión de la señal, y asegura además la correcta sincronización de los elementos de procesamiento digital que intervienen en su transmisión y procesamiento.

Codificación binaria

En el proceso de codificación digital PCM cada muestra es representada como una de entre un conjunto de palabras binarias de 8 bits ($2^8 = 256$ valores posibles). La curva de compansión correspondiente a la Ley-A (utilizada en los sistemas que se basan en la portadora digital E1) se observa en la figura 3.9. Nótese que la curva consiste en segmentos lineales a trozos; 7 de ellos sobre el origen y otros 7 con signo negativo. Contando los elementos colineales que pasan a través del origen, se tienen 16 de ellos en total. Cada segmento tiene 16 palabras código binarias PCM asociadas a él.

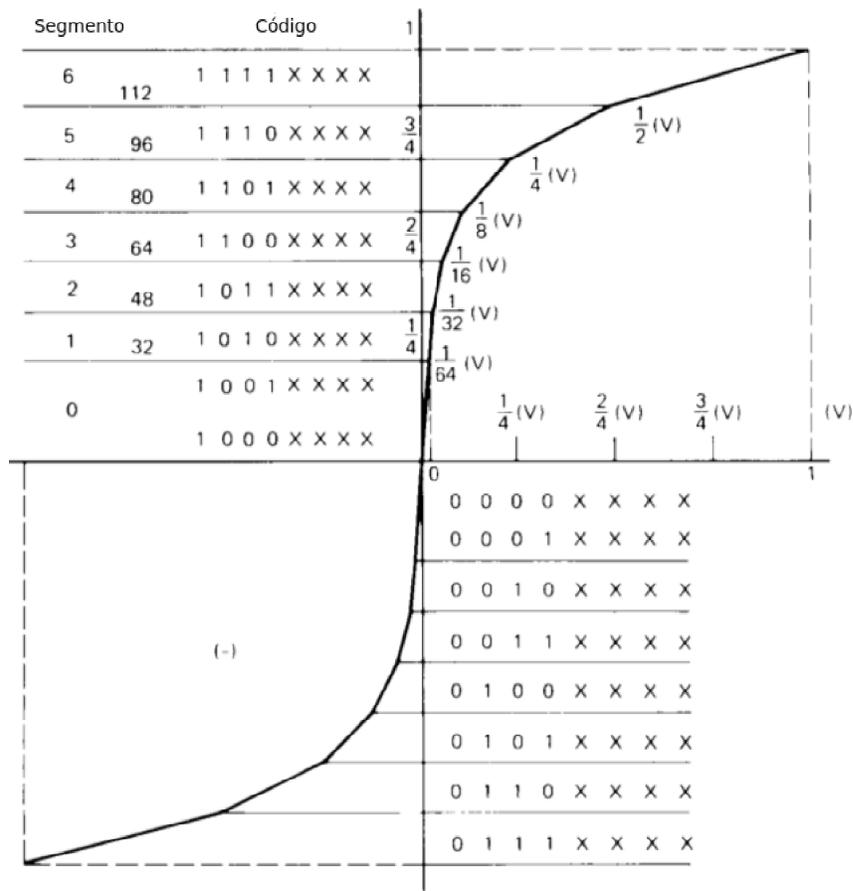


Figura 3.9: Aproximación de 16 segmentos a la curva de la Ley-A

El primer bit (el más significativo) indica la polaridad de la muestra; si la misma es positiva o negativa. Puede observarse que todas las palabras PCM por encima del origen comienzan con un 1 binario, mientras que aquellas por debajo del origen comienzan con un 0 binario. Los siguientes 3 bits en la secuencia identifican el segmento;

existen 8 (o sus equivalentes colineales) por encima y por debajo del origen. Por último, los 4 último bits menos significativos, indican exactamente en qué posición dentro del segmento se localiza la muestra específica una vez cuantificada.

Codificación de línea

Cuando las señales PCM son transmitidas a la central telefónica, se encuentran codificadas en forma bipolar, como se observa en la figura 3.10. Los valores de 1s lógicos tienen un 50% de ciclo de trabajo (*duty cycle*). Esta codificación tiene las siguientes ventajas:

- (a) No requiere conexión DC, por lo cual puede ser utilizado en líneas con acoplamiento capacitivo.
- (b) El espectro de potencia de la señal transmitida está centrado en una frecuencia equivalente a la mitad del bitrate.

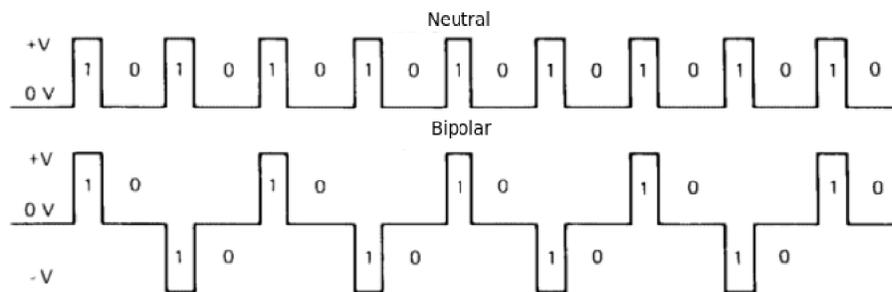


Figura 3.10: Codificación neutral y bipolar

Puede notarse que en la codificación bipolar los 0s se codifican como ausencia de pulsos, mientras que los 1s se codifican en forma alternativa como pulsos positivos y negativos, con la alternancia produciéndose a cada ocurrencia de un 1. Este modo de transmisión se denomina inversión alterna de marca (*alternate mark inversion*) AMI.

Una desventaja de la codificación AMI es que cuando se transmite una larga cadena de 0s (es decir, no se producen transiciones), surge un problema de sincronismo debido a que los repetidores y los decodificadores no tienen forma de extraer el sincronismo de la señal sin la ocurrencia de transiciones. Este problema puede ser mitigado prohibiendo la ocurrencia de largas secuencias de 0s. Se han desarrollado códigos

bipolares que sin embargo aseguran un número N de transiciones por cada número de 0s; se conocen como códigos “BNZS”. Por ejemplo, el código B6ZS sustituye una señal o marca conocida en particular cuando se presenta una secuencia de 6 0s consecutivos. El código B8ZS es empleado en los lazos digitales de abonados e inserta una violación concertada en el código al producirse 8 ceros consecutivos.

Otro tipo de codificación es conocido como **HDB3** (*high density binary of order 3*; Binario de alta densidad de orden 3), donde el número 3 indica la sustitución por secuencias binarias de más de tres 0s consecutivos. Con **HDB3**, el segundo y tercer 0 de la secuencia son transmitidos son cambios. El cuarto 0 es transmitido con la misma polaridad de la marca enviada previamente, lo cual es una “violación” del concepto **AMI**. El primer 0 puede o no ser modificado hacia un 1, a fin de asegurar que sucesivas violaciones resulten con la polaridad opuesta. **HDB3** es utilizado en los sistemas digitales E1 y resulta similar al B3ZS.

3.2. Multiplexación por división de tiempo TDM

Multiplexación por división de tiempo es un tipo de multiplexación digital en el que se transfieren dos o más flujos de bits o señales que aparecen al mismo tiempo como sub-canales en un canal de comunicación. El dominio del tiempo está dividido en varios intervalos de tiempo recurrentes de longitud fija, uno para cada sub-canal. Un byte de datos o muestras de bloques de sub-canal 1 se transmite durante el intervalo de tiempo de 1, sub-canal 2 durante el intervalo de tiempo 2, etc. Una trama TDM consiste en una ranura de tiempo por sub-canales más un canal de sincronización y, a veces de canal de corrección de errores antes de la sincronización. Después de la última sub-canal, corrección de errores, y la sincronización, el ciclo comienza de nuevo con un nuevo marco, a partir de la segunda muestra, byte o bloque de datos de sub-canal 1.

En su forma primaria, TDM se utiliza para la comunicación en modo circuito con un número fijo de canales y ancho de banda constante por canal.

En 1962, los ingenieros de Bell Labs desarrollaron los primeros bancos del canal D1, lo que combinado 24 llamadas de voz digitalizada a través de cable de cobre de 4 hilos entre conmutadores de las oficinas centrales analógicas. Tal configuración se

originaba en un banco de canales compuesto por intervalos de tiempo que conformaban una señal digital de 1,544 Mbps en 8.000 tramas separados, cada uno compuesto de 24 bytes contiguos. Cada byte representa una sola llamada telefónica codificada en una señal de tasa de bits constante de 64 kbps. Los bancos de canales empleaban una posición fija de un byte dentro de la trama para determinar a que llamada que pertenecía.

En las redes de conmutación de circuitos, tales como la red telefónica pública conmutada existe la necesidad de transmitir llamadas de múltiples abonados a lo largo del mismo medio de transmisión. Para lograr esto, los diseñadores de redes hacen uso de **TDM**, el cual posibilita llevar a cabo conmutación para crear canales o afluentes, dentro de un flujo de transmisión. Una señal de voz estándar DS0 tiene una velocidad de bits de datos de 64 kbps, determinado utilizando el criterio de muestreo de Nyquist (ver sección 3.1). **TDM** toma tramas de las señales de voz y los multiplexa en una trama **TDM** que funciona a un bitrate superior. Por lo tanto, si la trama **TDM** consiste en n tramas de voz, el bitrate total será $n * 64$ kbps.

Cada ranura de tiempo de la muestra de voz en la trama **TDM** se llama un canal. En los sistemas europeos, las tramas **TDM** contienen 30 canales de voz digitales, mientras que en los sistemas estadounidenses, contienen 24 canales. Ambas normas también contienen bits adicionales para la señalización y los bits de sincronización.

La multiplexación de más de 24 o 30 canales de voz digitales se conoce como multiplexación de orden mayor. Ésta se alcanza mediante la multiplexación de las tramas **TDM** estándar. Por ejemplo, un canal de 120 tramas **TDM** Europeo está formada por multiplexación de cuatro canales de 30 tramas **TDM** estándar. En cada multiplex de orden superior, cuatro tramas **TDM** de la orden inferior inmediata se combinan, dando lugar a la creación de multiplex con un ancho de banda de $n * 64$ kbit/s, donde $n = 120, 480, 1920$, etc, síncronos de multiplexación por división de tiempo

3.3. Trama digital E1

En 1965, en los Estados Unidos se desarrolló un estándar de multiplexación digital en tiempo **TDM** en base a 24 canales telefónicos digitales de 64 kbps, para un total de 1.544 Mbps, un formato que se dio a conocer como T1.

Europa desarrolló su propio estándar de multiplexación **TDM** alrededor de 1968; esta vez con una capacidad de 32 canales de 64 kbps (ver figura 3.12). La señal resultante de 2.047 Mbps, fue llamada E1, la cual está estandarizada por la **UIT** y ha sido adoptada mundialmente, con la excepción de los Estados Unidos, Canadá y Japón. Para una señal E1, la tasa agregada de transmisión se obtiene de la siguiente forma:

$$(32_{\text{canales}} \times 8_{\text{bits/canal}}) / 125\mu\text{s} = 2,048 \text{ Mbps} \quad (3.6)$$

La trama digital E1 define un conjunto cíclico de 32 ranuras de tiempo (*timeslots*) de 8 bits cada una. El *timeslot* 0 está dedicado a la gestión y administración del sistema de transmisión, mientras que el *timeslot* 16 se reserva para señalización; el resto fue originalmente asignado para la transmisión de voz y datos (ver figura 3.11).

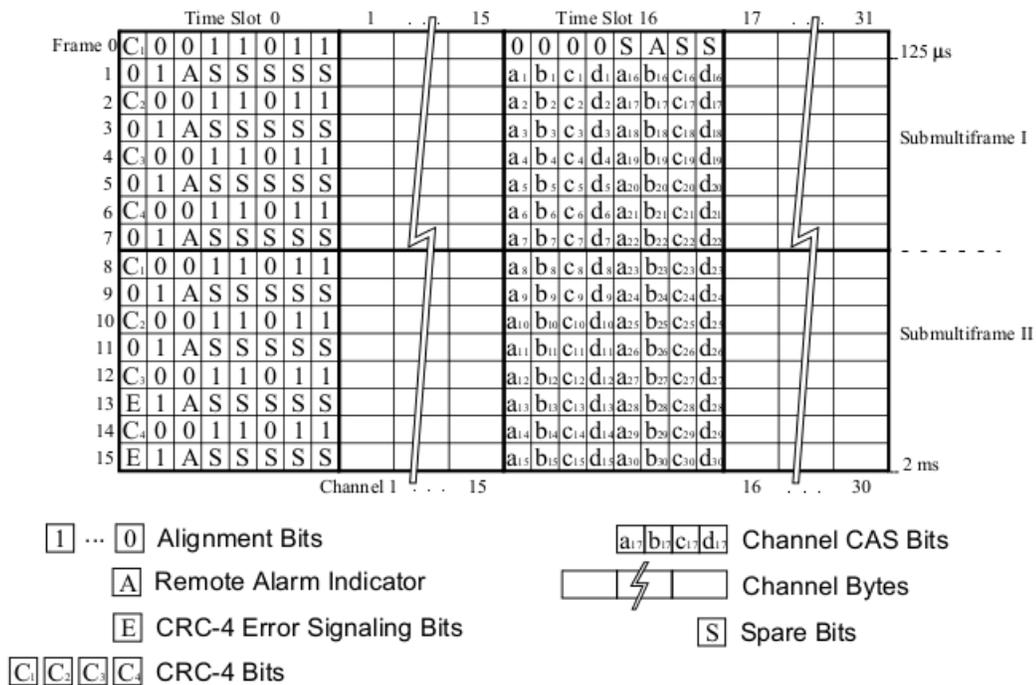


Figura 3.11: Bits de control y señalización de la trama E1

3.3.1. Alineación de trama

En un canal E1, la comunicación consiste en el envío secuencial de tramas consecutivas desde el transmisor hasta el receptor. El receptor debe recibir una indicación mostrando cuando se inicia el primer intervalo de cada trama, de tal manera que pueda

discriminar en todo momento a qué canal corresponde cada uno de los *timeslots* en arribo, de tal manera que estos puedan ser demultiplexados correctamente. La sincronización está entonces establecida, conociéndose ésta entonces como alineación de trama.

A objeto de implementar un método para la alineación de las tramas, de tal manera que el receptor sea capaz de discriminar el punto exacto donde ésta comienza, existe la señal de alineación de trama (**FAS**). En la trama E1 de 2 Mbps, la **FAS** es una combinación de 7 bits fijos (“0011011”) transmitidos en la primera ranura de tiempo de la trama (“*timeslot*” cero o TS0). Para que el mecanismo de alineación de mantenga con el tiempo, no es preciso que la **FAS** sea transmitida durante cada trama. En cambio, esta señal puede ser enviada en tramas alternas. (primera, tercera, quinta, y así en forma sucesiva). En este caso, el TS0 se emplea como el “*slot*” de sincronismo. El TS0 del resto de las tramas está por tanto disponible para otras funciones, tales como la transmisión de alarmas.

En el TS0 de tramas que contienen el indicados **FAS**, el primer bit está dedicado al código de verificación de redundancia cíclica (**CRC**). Éste indica si existe uno o más bits errados en un grupo específico de datos recibidos en un bloque previo de ocho tramas conocido como submultitrama.

El objetivo de este sistema es evitar pérdida de sincronismo debido a eventuales apariciones del patrón “0011011” en un *timeslot* distinto al TS0 en una trama con **FAS**. Para implementar el código **CRC** en la transmisión de tramas a 2 Mbps, se construye un código **CRC-4** multitrama, compuesto de 16 tramas. Éstas son agrupadas en dos bloques de ocho tramas llamados submultitramas, en función de los cuales se calcula una verificación **CRC**, o palabra de 4 bits (bits en la posición #1, en tramas con **FAS**) de la trama inmediatamente posterior.

3.3.2. Monitoreo de errores

El objetivo del monitoreo de errores es el de verificar continuamente la calidad de la transmisión sin alterar el tráfico, y cuando la calidad no alcanza el estándar requerido, tomar las acciones necesarias para mejorarla. El tráfico telefónico es bidireccional, esto

por tanto implica que dos canales de 2 Mbps y dos direcciones de transmisión deben ser considerados.

El código de alineación de redundancia cíclica **CRC** ocupa solamente hasta seis de los primeros ocho bits del TS0 sin **FAS**. Existen dos bits en cada segundo bloque o submultitrama, cuya función consiste en indicar errores de bloque en el otro extremo de la comunicación. El mecanismo es el siguiente: Ambos bits, conocidos como bits E tienen “1” como su valor por defecto. Cuando el extremo remoto, que recibe la trama de 2 Mbps, detecta un bloque erróneo, coloca un “0” en el bit E correspondiente al bloque en la trama que está siendo enviada de vuelta al transmisor. De esta manera, el extremo lejano de la comunicación resulta informado en el caso de que sean detectados bloques erróneos en la transmisión: de tal manera que ambos extremos posean la misma información: uno de ellos a mediante el mecanismo de **CRC** y el otro por medio del bit E. Si se numeran las tramas dentro de la multitrama desde la 0 hasta la 15, el bit E de la trama 13 se refiere a la submultitrama I (bloque I) recibida en el extremo lejano, y el bit E de la trama 15 se refiere a la submultitrama II (bloque II).

El método ideado para la transmisión de las alarmas hace uso del hecho de que la comunicación en los sistemas telefónicos es siempre bidireccional. De esta manera, dispositivos de multiplexación/demultiplexación se encuentran instalados a extremos del canal de comunicación para la transmisión y recepción de las tramas. Una alarma debe ser enviada al transmisor cuando un dispositivo detecta una falla de energía o un error en el codificador/decodificador (*coder/decoder*), en alguno de los multiplexores intermedios. Las señales de error registradas con pérdida de la señal **LOS**, pérdida de alineación **LOF**, o una tasa de errores (**BER**) mayor a 10^{-3} .

El indicador de alarma remota (**RAI**) se envía en el **NFAS** de las tramas de retorno, con el tercer bit configurado a “1”. El transmisor entonces evalúa qué tan seria es la alarma en cuestión, y en base a ello inicia una serie de operaciones, dependiendo del tipo de alarma o condición detectada (ver tabla 3.1).

ID	Significado
AIS	<i>Alarm Indication Signal</i> . Se detecta si existen dos o menos 0s (UIT G.775)
LOF	<i>Loss of frame</i> . Se activa luego de tres tramas consecutivas con FAS (UIT G.706)
LOS	<i>Loss of signal</i> . Alarma de pérdida de señal
RAI	<i>Remote alarm indication</i> . Se activa luego de tres tramas consecutivas con el bit A = 1 (UIT G.732)
FAS error	<i>Frame alignment signal error</i> . Indica un bit incorrecto en la palabra de alineación
Bit error	Desajuste en la secuencia de bits (cuando la secuencia transmitida es conocida por el receptor)
Code error	Violación en la secuencia del código
CRC-LOM	Verificación de redundancia cíclica - pérdida de multitrama. Se activa si existe una LOF y se desactiva luego de una FAS correcta y dos CRC-MFAS (UIT G.706)
CAS-LOM	Señalización asociada al canal - Pérdida de multitrama. Se activa luego de dos errores MFAS consecutivos o luego de dos multitramas con los bits del <i>timeslot</i> 16 igual a 0 (UIT G.732)
CAS-MRAI	Señalización asociada al canal - Indicación de alarma remota en multitrama. Se detecta luego de dos tramas consecutivas con MRAI = 1 (UIT G.732)
CAS-MAIS	Señalización asociada al canal - Señal de indicación de alarma en multitrama. Es detectada si existen menos de tres 0s en el <i>timeslot</i> 16 durante dos multitramas consecutivas
CRC error	Error de verificación de código de redundancia cíclica. Se activa cuando uno o más bits son erróneos, cuando CRC-LOM está activado (UIT G.706)
REBE	Error de bloque en el extremo remoto. Se elimina si el primer bit de las tramas 14 y 16 es 0 (UIT G.706)

Tabla 3.1: Indicadores de alarma, errores y eventos en la trama *E1*

3.3.3. Señalización

Además de la transmisión de información generada por los usuarios de la red telefónica, resulta necesario también la transmisión de señalización. La señalización se refiere a los protocolos que regulan el intercambio de mensajes de tal manera que los usuarios puedan intercambiar información entre ellos.

La [IEEE](#) define la señalización como “el intercambio de información específicamente concerniente al establecimiento y control de las conexiones y a la transferencia de información de usuario a usuario e información de gestión en una red de telecomunicaciones” [5].

Existe un conjunto de señales que indican cuando un suscriptor ha levantado el teléfono, cuando ha comenzado a marcar un número, que señalan que existe una llamada entrante, así como también aquellos que permiten que el canal de comunicación permanezca establecido, entre otros.

En los sistemas [PCM-E1](#) la información de señalización puede ser transmitida mediante dos diferentes métodos: la señalización por canal común (*common channel signaling* [CCS](#)) y la señalización por canal asociado (*channel associated signaling* [CAS](#)). En la señalización [CAS](#) se emplea la ranura de tiempo (*timeslot*) 16 de la trama básica de 2 Mbps para la transmisión de información de señalización, mientras que en el esquema [CCS](#) puede ser empleada la misma ranura de tiempo para el establecimiento de un canal de señalización común para todos los circuitos transportados por el E1, e incluso para circuitos transportados físicamente por otros E1. Por otra parte, en este esquema, la información de señalización puede ser transportada por otro circuito perteneciente a otro canal de comunicación e incluso transportado por una red distinta.

En ambos casos, la ranura de tiempo (*timeslot*) 16 de la trama básica de 2 Mbps es empleada para la transmisión de información de señalización.

En la señalización [CCS](#), varios bytes de mensajes son transmitidos a través de un canal de 64 kbps proporcionado generalmente por el TS16 de la trama; estos mensajes transmiten la información de señalización de todos los canales de la trama. Cada mensaje contiene información que determina el canal específico que está siendo señalizado. Los circuitos de señalización acceden al canal de 64 kbps del TS16, el cual resulta entonces común para todos los canales. Existen diferentes esquemas de señalización basados en complejos protocolos (ejemplo: el sistema de señalización 7, [SS7](#)).

La señalización por canal asociado [CAS](#) se encuentra establecida en la recomendación UIT G.704 [6], la cual define la estructura de la trama E1. En la señalización [CAS](#), un canal de señalización es asociado a cada canal de información (no existe un

canal común de señalización), lo cual implica que los circuitos de señalización están personalizados a cada canal individual.

Señalización E&M

Como se ha dicho en la sección 3.3.3, el intercambio de señalización entre los multiplexores en los canales de ida y de retorno, tiene lugar a través de la utilización de pulso que comprenden cuatro bits (a, b, c, d), los cuales son originados por el equipo de multiplexación de señalización.

En la señalización E&M, el multiplexor detecta la señalización empleada, la convierte a señales codificadas en 4 bits y la entrega al multiplexor PCM para su inserción en el *timeslot* 16 de la trama PCM.

Puesto que en la señalización por canal asociado, únicamente el *timeslot* 16 es utilizado para señalización, y que 16 tramas PCM se unen para conformar una multitrama de señalización, se tiene que esta multitrama tiene una longitud de $16 \times 125\mu s = 2ms$. Lo que significa que la información de señalización para todos los 30 subscriptores es transmitida en un período de 2ms, y que la información de cada subscriptor se actualiza cada 2ms. Esto es suficiente, puesto que los pulsos de señalización más cortos son los pulsos de marcado, los cuales tienen una longitud de entre 40 y 60ms, lo cual resulta un largo intervalo comparado con el período de muestreo de 2ms.

3.4. Jerarquía Digital Plesiócrona PDH

La jerarquía digital plesiócrona o PDH surge a finales de la década de los 60 del siglo XX. Anteriormente la transmisión telefónica era de naturaleza analógica, pero al transcurrir el tiempo comenzaron los primeros esfuerzos para digitalizar el canal de voz de 4 kHz que mejoraron con la aparición de PDH como una tecnología capaz de transmitir de forma simultánea múltiples canales telefónicos digitales [7].

Todo esto evolucionó con la digitalización de un canal telefónico. Dicha digitalización es de 4 kHz mediante muestras de 8 bits y requiere una velocidad de transmisión

de 64 kb/s (ver sección 3.1) que constituye la unidad básica de PDH. La transmisión multicanal se consigue agregando canales digitales o tributarios en grupos (tributarios de orden superior) y dichos grupos a su vez en otros mayores (ordenación jerárquica), empleando multiplexación por división de tiempo TDM (ver sección 3.1.5) por lo que cada vez se requiere una mayor velocidad binaria. En la figura 3.12 se muestra mediante una tabla y un diagrama las diversas jerarquías de PDH tal y como han evolucionado en las tres regiones principales del mundo; Europa, América y Japón. Puede observarse como en todos los casos la unidad básica o nivel 0 de la jerarquía es el canal de 64 kb/s y como a partir de éste se constituyen agregados (jerarquías superiores). Sin embargo difiere en las diversas regiones, ya que PDH nunca ha llegado a estar estandarizada de forma global.

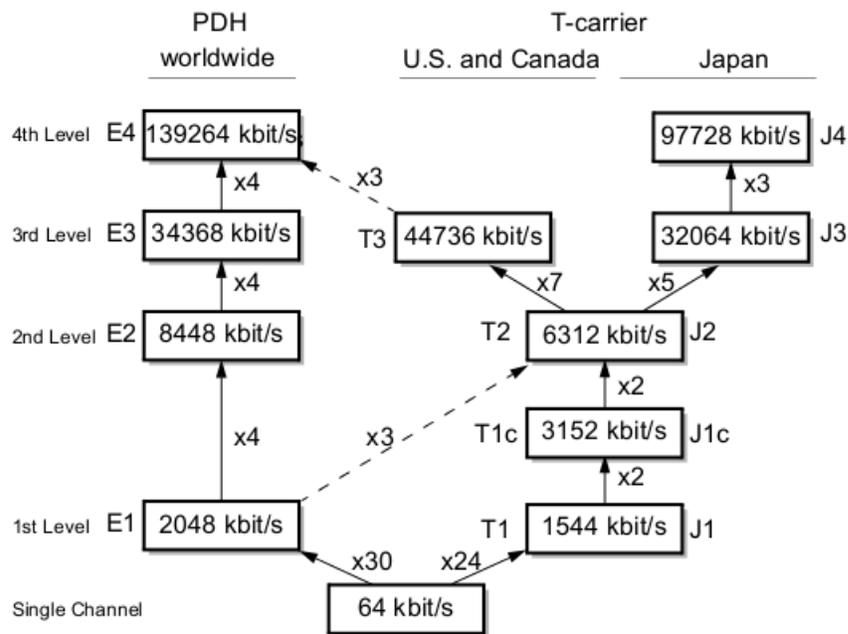


Figura 3.12: Jerarquías PDH por región

Con respecto a la construcción de jerarquías utilizadas en la zona europea, puede observarse cómo a partir de la agrupación de 32 canales de nivel 0 se obtiene un canal de nivel 1 a 2.048 Mbps, cómo a partir de la agrupación de 4 canales de nivel 1 se obtiene uno de nivel 2 a 8.448 Mbps y así sucesivamente hasta llegar al máximo nivel de la jerarquía, el nivel 4, que corresponde a una velocidad binaria de 139.264 Mbps.

El término plesiócrono significa casi síncrono, pues la multiplexación de canales en principio no es completamente síncrona. Por ejemplo, se puede observar que la

velocidad correspondiente a la jerarquía de nivel 3 en el modelo europeo es de 34 Mbps y no de 33,79 Mbps como correspondería a multiplicar por 4 la velocidad correspondiente a la jerarquía de nivel 2. Esto se explica debido a que a finales de la década de los 60 y principios de los 70 del siglo XX resultaba era tecnológicamente muy difícil y caro económicamente obtener el sincronismo entre las diferentes fuentes de datos generadoras de los canales tributarios de una jerarquía que requieren ser multiplexados para conseguir una señal de jerarquía superior. Así, a la entrada del multiplexor las señales que habían de combinarse llegaban por lo general con fases diferentes, es decir, desincronizadas.

La forma más sencilla para ajustar las fases de las señales de la que se disponía en dicha época consistía en emplear una serie de bits de relleno, entre los bits de datos, de forma que se compensase en la señal agregada la diferencia de sincronismo entre las señales tributarias, al respecto ver la figura 3.13.

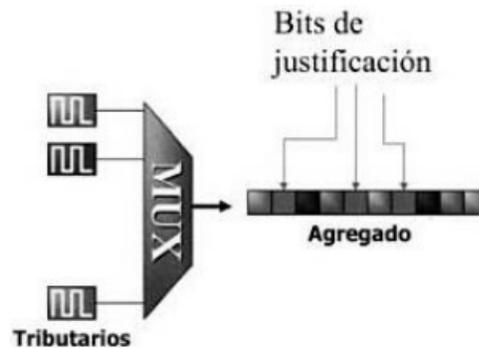


Figura 3.13: Multiplexación de señales cuasi sincrónicas

La introducción de la técnica de sincronización mediante bits de relleno comporta un inconveniente fundamental ya que para acceder a un tributario de un determinado nivel dentro de una señal multiplexada, es necesario demultiplexar todos los canales hasta dicho nivel, puesto que las sucesivas etapas de multiplexación insertan los bits de relleno en partes diferentes de la trama, según se necesite y por lo tanto es imposible determinar a priori donde se encuentra un canal dentro de la trama con completa certeza.

En la figura 3.14 se muestra un esquema de la multiplexación PDH, en el cual se observa la conformación de las sucesivas jerarquías.

En las figuras 3.15 y 3.16 y 3.17 se muestra la conformación de las tramas para las jerarquías de 8 Mbps, 34 Mbps y 140 Mbps, en estas se tiene que:

Palabra de alineación de trama	PAT
Bits de servicio	S
Bits de información	NI
Bits de relleno (stuffing)	St
Bits de relleno o información	B

Tabla 3.2: Significado de los bits en las tramas de jerarquías superiores

	N	NI	B	PAT	S	St	Tμs
8 Mbps	848	820	4	10	2	12	100,3
34 Mbps	1536	1508	4	10	2	12	44,7
140 Mbps	2928	2888	4	12	4	20	21,02

Tabla 3.3: Correspondencia de bits y tiempo entre los niveles de las jerarquías PDH

3.5. Jerarquía Digital Síncrona SDH

Las transmisiones síncronas pueden verse como la siguiente etapa en la evolución de la jerarquía de transmisión. La estandarización demandó gran esfuerzo por parte del conjunto de estándares. La oportunidad de definir este nuevo estándar ha sido usada para enfocarse también en otros problemas, entre ellos están la capacidad de administración de la red en la jerarquía, la necesidad de definir interfaces estándar entre equipos y las jerarquías de transmisión.

El término síncrono proviene del griego sync: con y chronos: tiempo. Esto significa a tiempo, operando al mismo tiempo, trabajando al mismo ritmo o sincronizado.

SDH se derivó del estándar propuesto en los Estados Unidos de Norteamérica para la transmisión síncrona: SONET, el cual fue el estándar propuesto por Bellcore en los Estados Unidos a principios de 1985. Éste fue tomado por la CCITT y en 1986 el trabajo culminó con el desarrollo de SDH, definido en las recomendaciones de la CCITT G.707/708/709, que detallan los estándares para la transmisión síncrona en Europa, y las cuales fueron publicadas en el libro Azul de la CCITT en 1989. Aunque estos estándares no son directamente compatibles entre sí, han sido homologados para

facilitar la interconexión entre ellos. La homologación de los dos estándares se logró en 1988. Además de las tres recomendaciones principales de la **CCITT**, existen otros grupos de trabajo que están elaborando otras recomendaciones cubriendo otros aspectos de **SDH**, como los requerimientos para los interfaces ópticos estándar y funciones **OAM** estándar.

Las implementaciones de sistemas de transmisión síncrona se deben principalmente a su capacidad para interconectarse con los sistemas plesiócronicos (sección 3.4) existentes. La **SDH** define una estructura la cual hace posible que las señales plesiócronicas puedan combinarse y encapsularse en una señal **SDH**. Esto protege la inversión hecha por los operadores de red en el equipo plesiócronicos, y permite que ellas puedan implementar el equipo síncrono de manera confiable a las necesidades específicas de su red.

El estándar **SDH** permite la multiplexación de afluentes plesiócronicos de las jerarquías existentes, esto indica un factor de unificación mundial. Los primeros estándares de la **UIT** que definen el estándar **SDH** parten de la serie G (sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales).

La recomendación de la **UIT** G.707 (1993) determina las velocidades binarias de **SDH** y establece que:

- (a) El primer nivel de **SDH** es de 155 520 kbps.
- (b) Las velocidades binarias superiores de **SDH** sean múltiplos enteros de la velocidad binaria del primer nivel.
- (c) Los niveles superiores de la jerarquía digital síncrona se denoten por el correspondiente factor de multiplicación de la velocidad del primer nivel.
- (d) Las velocidades binarias que constituyen a **SDH** son (ver tabla 3.4):

Nivel de la jerarquía	Velocidad binaria jerárquica (kbps)
1	155.520
4	622.080

Tabla 3.4: Velocidades binarias con respecto a su factor de multiplicación

La recomendación de la **UIT G.708** (1991) establece la interfaz de nodo de red para **SDH** e indica la estructura de trama básica, los principios básicos y elementos de multiplexación.

3.5.1. Estructura básica de la trama **SDH**

La estructura de la trama **STM-N** indica tres sectores principales de la trama **STM-N**; la tara o encabezado de sección (compuesto por: el encabezado de la sección regeneradora **RSOH** y el encabezado de sección multiplex **MSOH**), el puntero de la Unidad Administrativa (**PTR AU**) o ruta y la carga útil (*Pay load*) (ver figura 3.18)

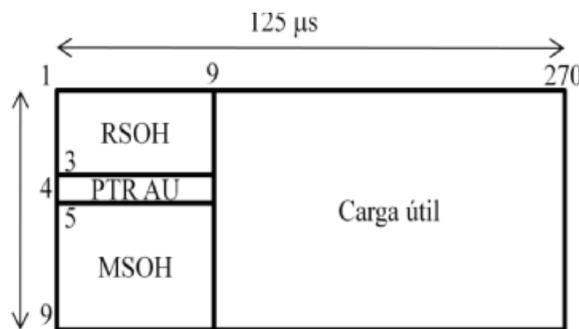


Figura 3.18: Estructura fundamental de la trama **SDH**

Contenedor Virtual **VC**

El contenedor virtual Es una señal síncrona en frecuencia con el **STM-1** y ocupa un determinado lugar dentro de la carga útil de la trama. Para que un tributario pueda formar parte de la carga útil de un **STM-1**, primero debe ser empaquetado correctamente. Para ello el tributario debe igualarse en velocidad para que exista sincronismo con el **STM-1**, el resultado de esto, es una señal un poco superior a la original del tributario y se le llama Contenedor (C). La formación del contenedor para afluentes plesiócronicos y síncronicos es igual, solo que para los afluentes plesiócronicos se emplea la técnica de justificación (*stuffing*).

Entre los puntos de ensamblado y desensamblado del contenedor le son agregados una serie de octetos para realizar diferentes funciones. Al recorrido entre estos dos

puntos se le llama Trayecto (*Path*) y al conjunto de octetos agregados se le llama Tara o Encabezado (*Overhead*) y el conjunto forma el **POH** (Path Overhead). La función de insertar y extraer el encabezado de trayecto se le llama Función de Terminación de Trayecto.

Vn (Velocidad)	Europa - America Latina	USA	Cn (Contenedor)	Cn + POH = VCn (Contenedor Virtual)
V4	139264 Mbit/s - ATM	ATM	C4	VC4
V3	34648 Mbit/s	44736 Mbit/s	C3	VC3
V2	2048 Mbit/s		C2	VC2
V1		1544 Mbit/s	C1	VC1

Figura 3.19: Formación de contenedores virtuales

3.5.2. Ventajas de la tecnología SDH

Las transmisiones en sistemas **SDH** superan las limitaciones que se tenían en una red plesiócrona. Ofrecen un sin número de beneficios tanto a los operadores de la red, como a los usuarios. **SDH** ofrecen las siguientes ventajas:

- (a) Altas velocidades de transmisión. Las velocidades mayores de los 10 Gbps se pueden obtener en el sistema **SDH**. Es por eso que **SDH** es la tecnología más apropiada para los enlaces troncales, alta capacidad, tráfico y con estrictos requerimientos de disponibilidad
- (b) El sistema **SDH** permiten mezclar los sistemas PDH con norma europea o con norma americana. De esta forma, puede transportarse en un mismo sistema señales de sistemas PDH como lo es la señal con norma americana de 1.5 Mbit/s y la señal con norma europea de 2 Mbit/s. También permiten establecer pasarelas (*gateways*) con diferentes proveedores de red.

- (c) Simplificación de la red. Comparado con los sistemas PDH, resulta mucho más fácil extraer e insertar canales de baja velocidad. No se requieren repetidos procesos de demultiplexación para luego volver a multiplexar la estructura plesiócrona. Esto conduce a la reducción de los equipos requeridos. Los bajos costos en operación tienen efecto debido a la reducción en el inventario requerido, la simplificación en el mantenimiento, la reducción en el espacio requerido por los equipos, y el menor consumo de potencia.
- (d) Alta disponibilidad y capacidad. Con SDH los proveedores de red pueden reaccionar de una manera más ágil y rápida a los requerimientos de los clientes. Por ejemplo, las líneas rentadas pueden ser conmutadas en cuestión de minutos. El proveedor de red puede usar elementos estandarizados que pueden ser controlados y monitoreados desde una locación central por medio de un sistema de administración de la red de telecomunicaciones o TMN (Telecommunications Management Network).
- (e) Confiabilidad. Las actuales redes SDH incluyen un conjunto de mecanismos de respaldo y de reparación para poder hacerle frente a las fallas del sistema. Una falla de un enlace o de un elemento de la red no afecta a toda la red. Estos circuitos de respaldo son activamente monitoreados por la administración de la red.
- (f) Soporte de servicios futuros. SDH está preparada para futuras aplicaciones. En este momento SDH resulta una elección altamente atractiva para plataformas de servicios que se extienden desde telefonía móvil celular y radio móvil, hasta comunicación de datos (LAN, MAN, etc.).

3.6. Comunicaciones Industriales

La automatización industrial se ha convertido en un medio imprescindible en la mejora del rendimiento, así como en el aumento de la eficacia de las funciones operacionales de una empresa industrial moderna. Esta situación se ve incrementada de acuerdo a la complejidad de las actividades específicas que la empresa desarrolle, así como con el alcance y extensión de su ámbito de acción.

Con la automatización de los procesos industriales se busca alcanzar una serie de objetivos. En primer lugar el aumento de la eficiencia en las operaciones y en los procesos industriales, empleando para ello las herramientas que ponen a disposición la electrónica, la informática y las telecomunicaciones. Adicionalmente se persigue el incremento y la optimización en la productividad del recurso humano; automatizando la realización de actividades manuales y repetitivas, disminuyendo costos energéticos y reduciendo los inventarios al mínimo necesario, así como también aumentando la confiabilidad de las operaciones.

En el caso específico de las telecomunicaciones, éstas desempeñan un papel de fundamental importancia en la implementación de los modernos sistemas de automatización industrial. Ésta es una función vital para aquellas empresas cuyas operaciones se encuentran dispersas geográficamente, como en el caso de los sistemas de distribución de energía eléctrica, la supervisión y control de instalaciones petroleras, patios de tanques, poliductos, refinerías y similares.

Las redes de telecomunicaciones industriales que sirven de soporte a los sistemas de supervisión y automatización industrial tienen los siguientes objetivos:

- (a) La recolección de datos de forma instantánea desde las localidades remotas.
- (b) La transmisión de datos hasta los centros de control de operaciones y procesamiento de información
- (c) El aumento de la confiabilidad y la seguridad en los procesos de producción mediante detección temprana de condiciones de alarma, supervisión y control continuo de procesos de alto riesgo, verificación de las instalaciones y seguimiento de las condiciones de operación de las estaciones remotas.

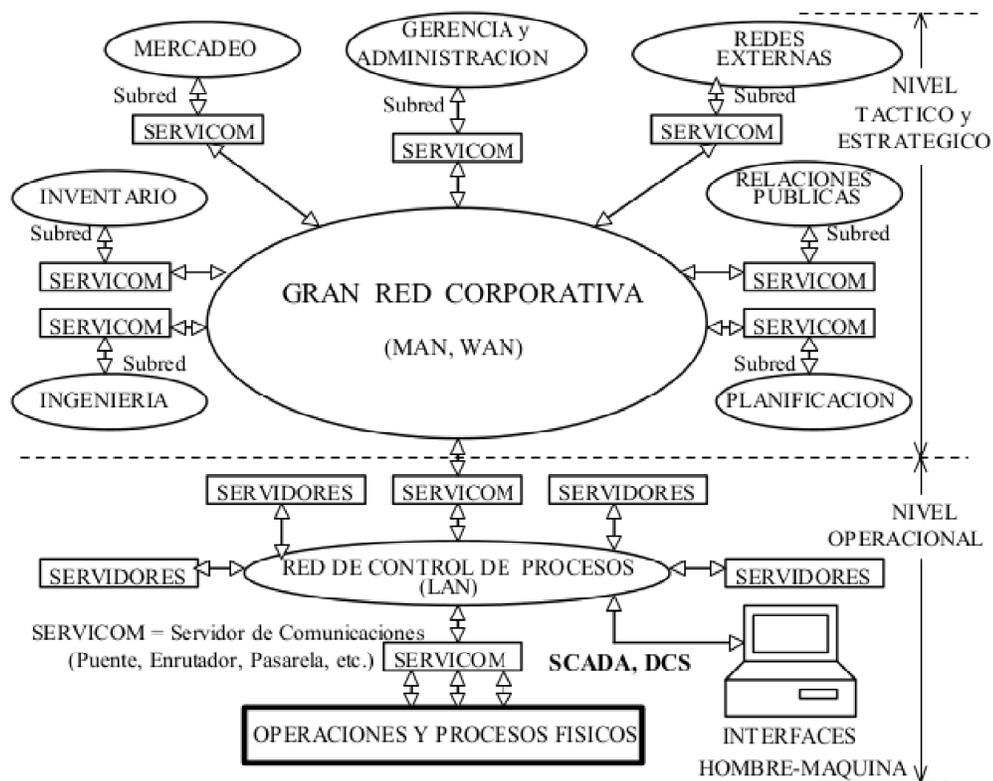


Figura 3.20: Esquema del flujo de información dentro de una red industrial moderna

Un esquema de tal tipo de red se muestra en la figura 3.20. La red corporativa es una red **MAN** o **WAN** de alta velocidad, normalmente bajo estándares **IP**, **MPLS**, **SDH-SONET** o análogos. La red de procesos es generalmente una red de área local **LAN**. Dentro del área de operaciones y procesos físicos se encuentran las redes de campo. La labor llevada a cabo en el marco del trabajo de grado que aquí se expone abarcó el ámbito de las redes de operaciones en campo y su interconexión con la red principal de gestión y supervisión a través de la red **WAN** corporativa.

3.6.1. Telemetría, telecontrol y **SCADA**

Por telemetría se conoce el empleo de equipos y sistemas electrónicos para detectar, acumular y procesar datos físicos en un lugar, para después transmitirlos a una estación remota donde pueden procesarse y almacenarse. Un ejemplo de la utilidad de la telemetría es la medición, transmisión y procesamiento de magnitudes físicas

en sistemas de automatización de procesos industriales. Estos datos pueden ser, por ejemplo, la temperatura y la velocidad de un gas o un fluido a lo largo de una tubería. Tales magnitudes se conocen como variables de campo.

Muy asociado al concepto anterior, existe también el de telecontrol, el cual contempla el control (por lo general en forma remota) de las operaciones que se estén llevando a cabo. Mediante el telecontrol, una vez recibidas y procesadas las señales o variables de campo, se procede a modificar las condiciones de operación de los procesos, actuando físicamente sobre uno o varios procesos, de acuerdo a una planificación establecida y/o de acuerdo a ciertas circunstancias. Las decisiones son tomadas por operador capacitado experimentado o por un programa automatizado. Un sistema de procesamiento industrial consiste básicamente es un sistema de telemetría y telecontrol.

La red de telecomunicaciones, junto con los sistemas de instrumentación, control y procesamiento de datos de campo (redes de campo), ha permitido el desarrollo del concepto de sistema **SCADA** (*Supervisory Control and Data Acquisition*; control supervisorio y adquisición de datos).

Un sistema (SCADA) esta compuesto por un conjunto de tecnologías que permiten obtener y procesar información de procesos industriales dispersos o lugares remotos inaccesibles, transmitiéndola a un lugar para supervisión, control y procesamiento, normalmente una Sala o Centro de Control. Un sistema de este tipo permite entonces supervisar y controlar simultáneamente procesos e instalaciones distribuidos en grandes áreas, y generar un conjunto de información procesada como, por ejemplo, presentación de gráficos de tendencias e información histórica, de informes de operación y programación de eventos, programas de mantenimiento preventivo, etc. En la figura [3.21](#) se muestra la configuración típica de un sistema de automatización industrial a nivel operacional.

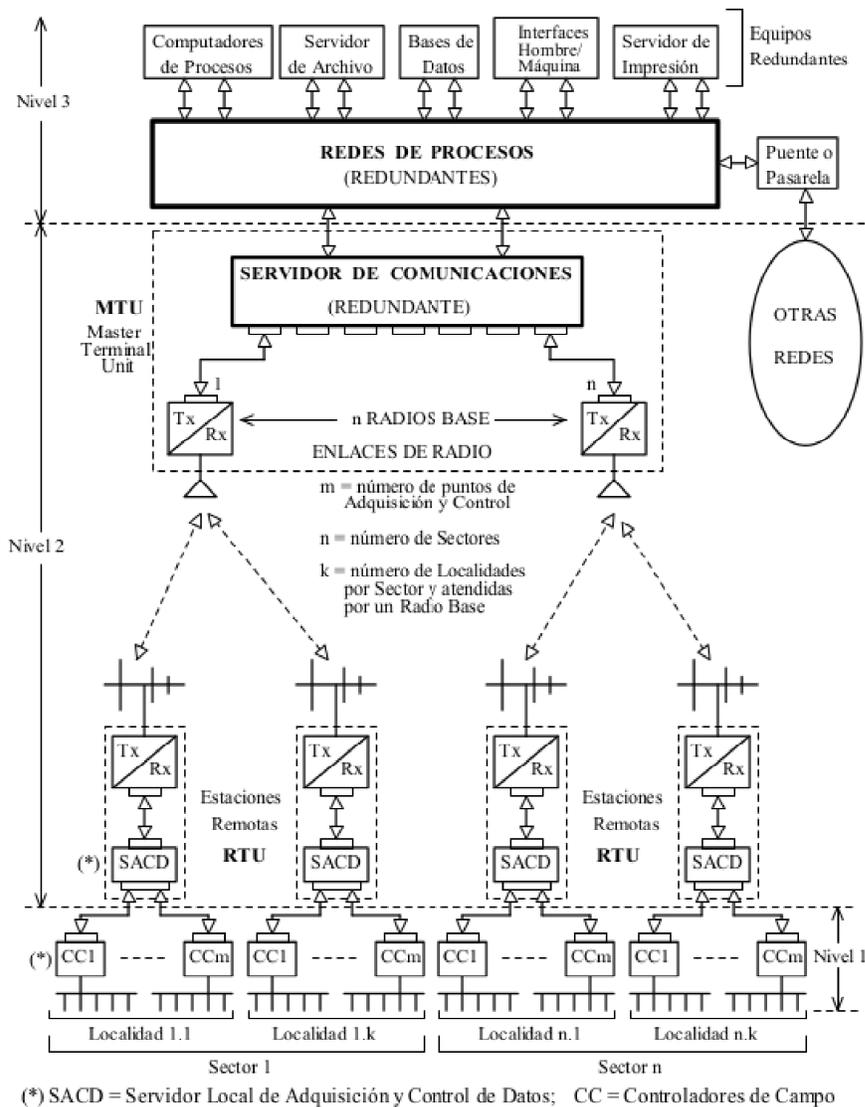


Figura 3.21: Nivel operacional de un sistema integrado de automatización y control

El subsistema de instrumentación y control local es el nivel que se encuentra en contacto directo con el proceso y por lo tanto se encuentra distribuido en las localidades remotas a las que se quiere controlar y supervisar. Aquí se encuentran las Redes de Campo que incluyen toda la instrumentación asociada con el proceso, los elementos finales de control, así como los medios de conversión de la información en un formato digital apropiado para su transmisión al nivel 3 o subsistema de procesamiento de datos y control global. Este Nivel 1 o Subsistema de Instrumentación y Control Local está constituido por equipos específicos (controladores y redes de campo) que

se ubican lo más cerca posible del proceso: instrumentos de medición (temperatura, presión, flujo, velocidad, etc.), sistemas **PLC**, sensores, actuadores, válvulas de control, bombas, compresores, etc. Bajo instrucciones desde el Centro de Control, en el Nivel 1 se realiza las operaciones de control y los ajustes en las tablas de configuración de parámetros tanto continuos como discretos de un lazo de control. Para su transmisión a los niveles superiores, algunas de estas funciones se integran en las denominadas unidades terminales remotas **RTU**.

En cada localidad remota de interés se instala un servidor de adquisición y control que junto con el transceptor de comunicaciones constituye la estación remota o **RTU**, la cual debe mantenerse en comunicación continua con el Centro de Control. Esta comunicación la realiza el subsistema de comunicaciones o nivel 2, mostrado en la figura 3.21, por medio de un sistema de telecomunicaciones dado y utilizando protocolos específicos.

El Servidor de Comunicaciones junto con los radios base constituyen la estación maestra **MTU**. La función general de la **MTU** es la de realizar todas las labores de interrogación y comunicaciones entre el Nivel 1 y el Nivel 3. En la figura 3.21 se utilizan medios radioeléctricos de transmisión; sin embargo, se puede utilizar conductores metálicos, fibras ópticas, satélites, rayos infrarrojos, láser, etc.; la selección del medio de transmisión depende fundamentalmente, aparte de los aspectos económicos, de las condiciones climáticas o geográficas, y muchas veces el medio de transmisión es una combinación de estos medios. Los protocolos utilizados en el subsistema de comunicaciones, denominados protocolos industriales o de campo, permiten la interacción entre los equipos de comunicación. Estos protocolos están constituidos por un conjunto de reglas y procedimientos para el intercambio de mensajes, detección y corrección de errores, y establecer las secuencias y lazos de control y supervisión.

Una vez que los datos han sido recolectados desde las localidades remotas y transmitidos al centro de control, nivel 3 de la figura 3.21, es necesario realizar sobre ellos un cierto procesamiento en tiempo real a fin de obtener información útil acerca de los procesos, presentarla al operador (o usuario) y emprender acciones de supervisión y control cuando sea necesario. Este trabajo lo realiza el subsistema de procesamiento de datos. Este subsistema es el brazo operativo del centro de control y es el encargado de ordenar y procesar la información que es recibida del proceso mediante los enlaces

de comunicación. El centro de control debe poseer una alta capacidad de computación y normalmente está constituido por computadoras y redes de alta velocidad, interfaces hombre-máquina, bases de datos, servidores de aplicación (de impresión, de archivo, de datos históricos, de monitoreo, etc.). Todos estos recursos deberán ser redundantes para asegurar la confiabilidad e integridad en todas las operaciones.

PLC

En los sistemas de control modernos, la mayor parte de las operaciones desarrolladas por el subsistema de instrumentación local, con la excepción de la captación de variables y la manipulación de dispositivos, son efectuadas por un dispositivo programable conocido como PLC (controlador lógico programable). El PLC es un mecanismo electrónico diseñado para el control en tiempo real de procesos secuenciales en un medio industrial. Realiza funciones lógicas: conversión serie-paralelo, temporizaciones y conteos, además de otras más complejas como cálculos, regulación, emisión de comandos, etc. El PLC dispone además de circuitos de comunicación que le permiten acceder a un subsistema de comunicaciones.

El PLC cuenta con una serie de interfaces de conexión para recibir señales de entrada provenientes de dispositivos y transductores, así como terminales de salida para el accionamiento y control de válvulas, actuadores, motores, etc, de tal forma que la actuación de estos últimos está en cada momento en función de las señales de entrada y del programa almacenado en el PLC. La arquitectura básica de un sistema PLC se muestra en la figura 3.22, en la cual se incluyen todos los elementos de un subsistema de control local, tal arquitectura resulta consistente entre los equipos producidos por diversos fabricantes.

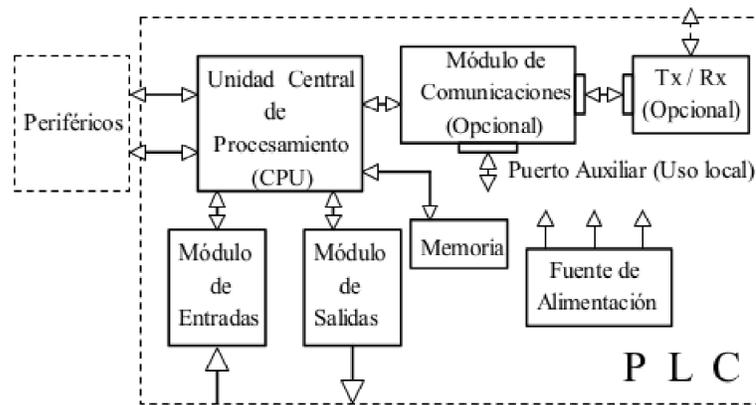


Figura 3.22: Diagrama de bloques de un *PLC*

Unidad terminal remota *RTU*

El creciente y acelerado desarrollo en la informática, la electrónica y las telecomunicaciones ha traído como consecuencia la integración de la mayor parte de los elementos del subsistema de procesamiento y control local. Como consecuencia, en una sola unidad se han integrado los módulos de entrada I/O, el CPU, el módulo de comunicaciones, el módem, el transmisor de radio, un teclado funcional y las fuentes de poder. Esta unidad se denomina Unidad Terminal Remota (*Remote Terminal Unit, RTU*) y es muy ampliamente utilizada en la industria petrolera en instalaciones remotas. Todos los elementos vienen integrados en un gabinete blindado que cumple con las recomendaciones usuales de seguridad para su utilización en el campo.

Según *ANSI*, el término “unidad terminal remota” se refiere al equipo de una estación remota de un sistema supervisorio, mientras que el término “supervisorio” incluye todo el “control, indicación, y equipos asociados de telemetría en la estación maestra, y todos los dispositivos complementarios en la estación o estaciones remotas”.

La inclusión de módulos de computación con microprocesadores ha hecho posible descargar el canal de comunicaciones y los computadores de procesos globales, de muchas tareas que anteriormente ellos desarrollaban. Como consecuencia, los costos totales se han reducido, la flexibilidad ha mejorado y aumentado las prestaciones de

los sistemas local y global. En la figura 3.23 se muestra en forma esquemática los elementos contenidos en una RTU.

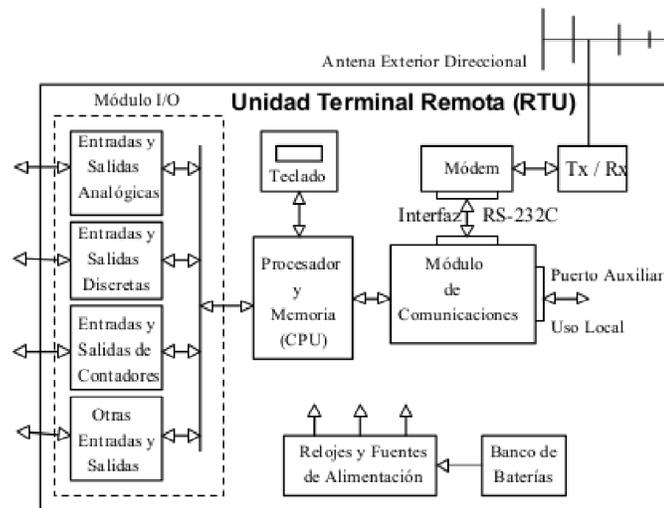


Figura 3.23: Configuración básica de una unidad terminal remota (RTU)

Unidad terminal maestra MTU

La función general de la MTU es la de realizar todas las labores de interrogación y comunicaciones entre el subsistema de procesamiento local y los computadores de procesos. Aunque en la figura 3.21 se muestra el MTU conectándose con las estaciones remotas (RTUs) a través de un transceptor de radio, en la transmisión se puede utilizar cualquier medio: par trenzado, cable coaxial, fibras óptica, etc. La selección de un medio depende fundamentalmente, aparte de los aspectos económicos, de las condiciones climáticas o geográficas del sistema, y muchas veces la trayectoria de transmisión es una combinación de varios medios.

El Servidor de Comunicaciones es un computador de propósito especial que se coloca antes de las redes de procesos o de los computadores de procesos. Este equipo tiene mucha inteligencia agregada y se utiliza para efectuar todas las funciones de comunicación que de otra manera tendrían que ser realizadas por los computadores de procesos. Este arreglo, presente en la mayoría de las arquitecturas orientadas todos los sistemas de transmisión de datos en entornos industriales, resulta altamente por cuanto la transmisión de datos se efectúa en forma esporádica y por ráfagas; sin el

servidor de comunicaciones el tráfico en tiempo real de un gran número de entradas puede consumir grandes cantidades de tiempo de computación y el computador del proceso no podría atender debidamente aquellas tareas orientadas a las aplicaciones para las cuales está destinado. El servidor efectúa entonces todas las tareas de recepción, formato, codificación, almacenamiento, etc. para un uso más eficiente de los recursos presentes. En algunos casos de altas velocidades, la transferencia de información entre el servidor de comunicaciones y el computador se hace por acceso directo a memoria (DMA), es decir, el servidor coloca directamente en la memoria del computador toda la información que éste necesita. En los grandes sistemas de automatización de procesos los servidores de comunicación se utilizan en pares: uno activo y otro de reserva.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta una descripción de las condiciones técnicas que determinaron el contexto dentro del cual se desarrolló el trabajo de grado que aquí se expone. Se presenta en primer lugar una reseña general de la red troncal (WAN) de PDVSA en la región centro; se detalla su topología, las tecnologías empleadas en sus enlaces, la capacidad de los mismos, además de las características de los equipos en servicio.

Se hace especial énfasis en este punto en el soporte que ofrece la mencionada red para la transmisión de información de telemetría, específicamente de aquella originada en estaciones de supervisión asociadas a un poliducto que transporta hidrocarburos desde el occidente del país. Se incluyen por tanto detalles específicos de conformación y configuración de los elementos de la red que dan soporte a estos servicios.

Se incluyen a tal objeto, dentro de este capítulo, reseñas técnicas de inspecciones de campo realizadas a estaciones de telecomunicaciones que forman parte de la red troncal de PDVSA; evidenciando así los aspectos prácticos de la implementación real de las topologías, redes y servicios que se describen.

Se describe, a fin de términos, la situación previa existente antes de la realización de la propuesta de que es objeto este trabajo de grado; durante esta exposición se plantearán además, de forma detallada, las razones que ameritaron la migración de un conjunto de servicios de telemetría; la necesidad de tal migración, así como las ventajas que se perseguían con su realización.

4.1. Descripción de la red troncal de PDVSA región centro

La red troncal de PDVSA, está determinada en su dimensionamiento por el amplio número de sedes y sucursales administrativas, y de localidades operativas que requiere la empresa para el desarrollo de las actividades que le son propias, así como por la extensión y la amplitud geográfica en las que éstas se encuentran distribuidas.

El segmento de esta red correspondiente a la región centro, área metropolitana, está basado en forma casi exclusiva en enlaces de microondas, y está compuesto por 56 estaciones de telecomunicaciones, las cuales se interconectan entre sí a través de un total de 72 radioenlaces, entre troncales (principales y de respaldo) y secundarios, bajo tecnologías PDH (ver sección 3.4), SDH (ver sección 3.5) y WLAN, con velocidades de transferencia de datos entre los 155 Mbps y los 3 Mbps. La topología detallada de esta red se observa en la figura 4.1.

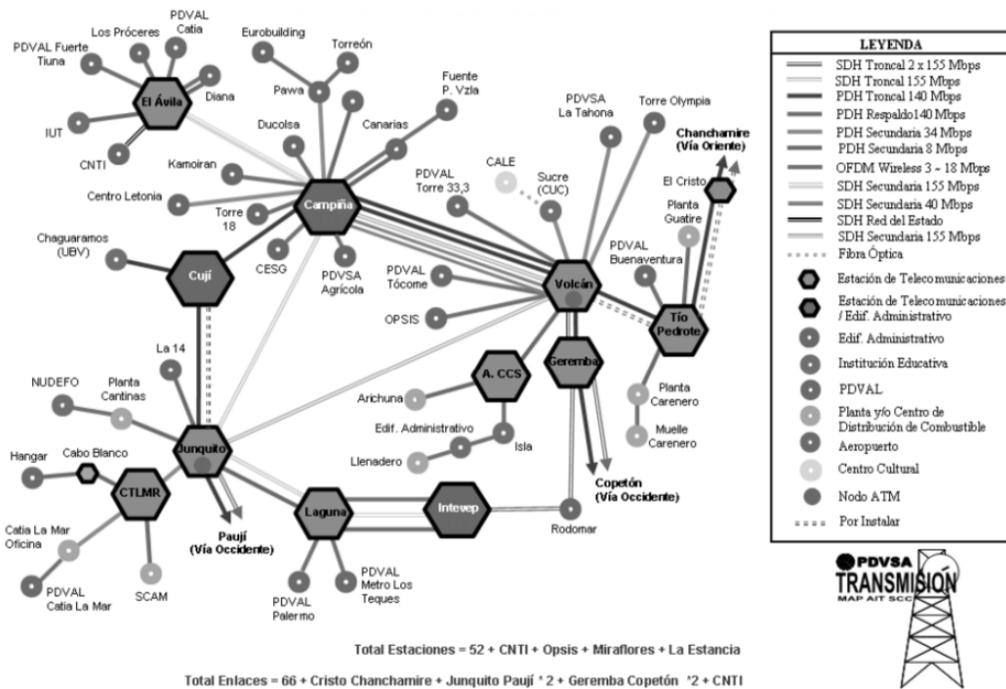


Figura 4.1: Red de transmisión metropolitana de PDVSA

A través de esta red pasan todos los servicios teleinformáticos de que hace uso la corporación para sus actividades cotidianas: telefonía (por circuitos conmutados y

también IP), videoconferencia, correo electrónico, además de un amplio número de aplicaciones específicas (gestión distribuida de activos, comercio y suministro, llenaderos de combustible).

4.1.1. Red de telemetría metropolitana

Una de estas aplicaciones específicas consiste en la telemetría de estaciones de gas correspondientes al gasoducto metropolitano (red SISUGAS). Esta red está conformada por 8 estaciones maestras (MTU, ver 3.6.1), a las cuales reportan 30 estaciones remotas (RTU, ver 3.6.1), existiendo además dos estaciones repetidoras. La topología de esta red se presenta en la figura 4.2.

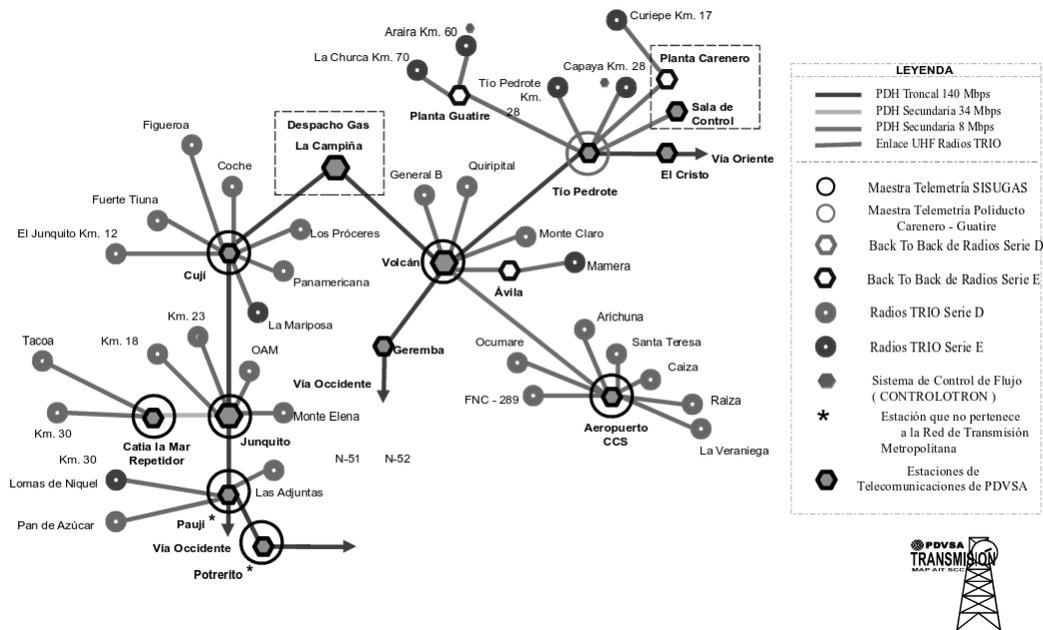


Figura 4.2: Red de telemetría, área metropolitana

4.1.2. Detalle de una estación remota de telemetría

Descendiendo en el nivel de granularidad en el estudio de la red, concentrándose en la configuración de una estación maestra de telemetría, y de las estaciones remotas que a ella le responden, la figura 4.3 muestra la disposición de una de estas estaciones, correspondiente en este caso a la maestra de telemetría que se encuentra ubicada en

la estación de telecomunicaciones de El Volcán, al sureste de Caracas. La maestra de telemetría se comunica con las estaciones remotas mediante un sondeo (*polling*) tipo *round robin* a través de un enlace en frecuencia UHF, en banda permisada (frecuencias asignadas por el ente regulador CONATEL. La estación maestra se comunica con la sala de control, ubicada en la sede de PDVSA en La Campiña, Caracas, a través de un módem V.32 a 9600 bps, velocidad de transferencia que resulta adecuada para el volumen de datos involucrado. El canal en banda vocal es transmitido a través de la red troncal de PDVSA. Fotografías de una MTU y un módem que funciona bajo el estándar V.32, actualmente operativas en la red de PDVSA se muestran en las figuras 4.4 y 4.5.

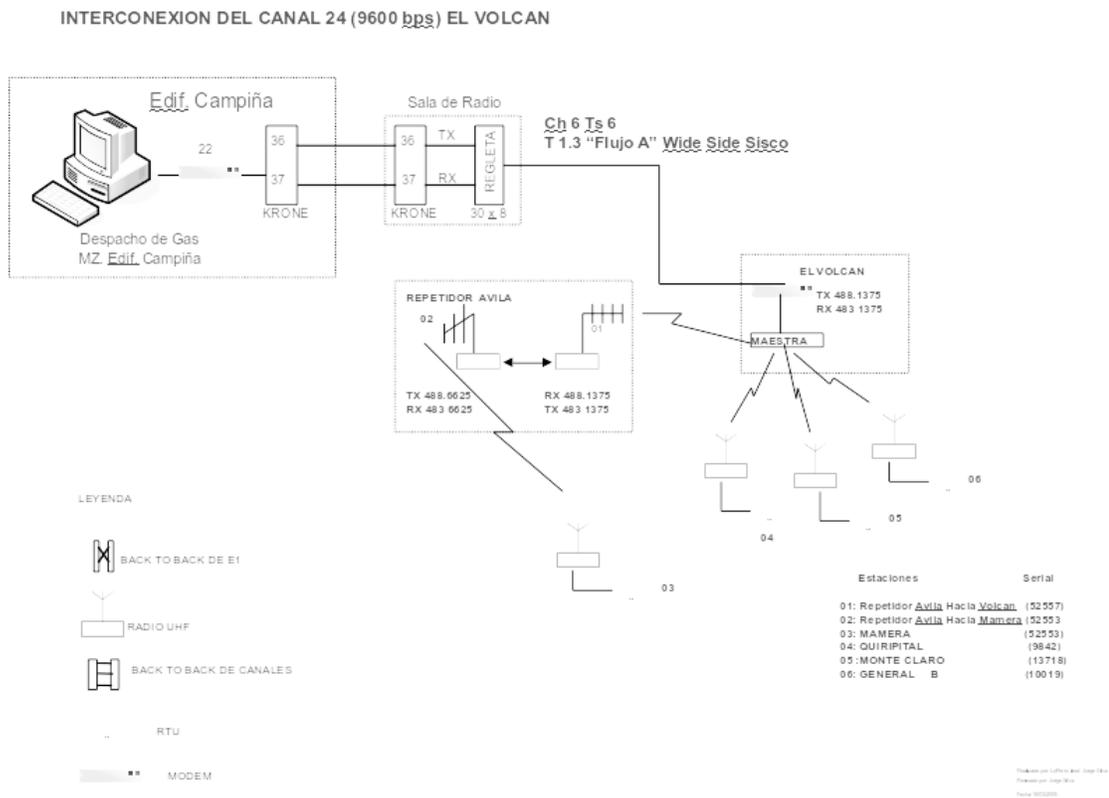


Figura 4.3: Detalle de interconexión de una estación maestra de telemetría



Figura 4.4: Detalle de la *MTU* de la estación El Junquito

4.1.3. Radio *PDH* Siemens CTR 216

El transmisor - receptor CTR 216 es un equipo que opera en las bandas de 6.4 a 7.1 GHz para cumplir con la transmisión de señales de alta capacidad (4x34 Mbps) moduladas en 16 *QAM*.

Puesto que a través de este equipo se transmite la información de la red troncal de *PDVSA* a objeto de aumentar la confiabilidad del enlace, disminuyendo el tiempo de indisponibilidad del mismo y reduciendo al mínimo posible la tasa de bits errados, las rutas que hacen uso de este equipo han sido configuradas con protección 1+1, lo que consiste en una reserva activa en el emisor, la cual proporciona redundancia y seguridad en la señal. Los recorridos en transmisión son idénticos, seleccionándose uno de los dos transmisores con un conmutador de RF, dependiendo de la calidad de las señales. El emisor de reserva tiene características idénticas al principal y se encuentra ubicado en otro bastidor, lo que significa que existen dos bastidores transeptores, uno principal y otro auxiliar.



Figura 4.5: *Detalle del módem de la MTU, estación El Junquito*

El equipo transceptor está diseñado para funcionar con protección de diversidad en espacio, utilizando para ello un módulo receptor especial al que llega la señal a RF proveniente de la antena de diversidad. Este receptor está gobernado por el oscilador local del receptor principal y su señal de salida frecuencia intermedia (IF) es enviada por medio de puentes externos a dicho módulo donde se mezcla con la señal principal para luego ser llevado hacia el demodulador. El receptor capta la señal proveniente de la antena de diversidad y la traslada a frecuencia intermedia para luego ser procesada por el demodulador de reserva. La señal que sale del receptor principal llega al demodulador principal. Las salidas de los demoduladores se envían a la unidad de conmutación CCA 63-4 donde se escoge la de mayor calidad.

El equipo CTR 216 tiene puntos de medición en corriente continua para comprobar los parámetros más significativos y en corriente alterna para permitir las mediciones de las señales de entrada y salida sin necesidad de interrumpir el tráfico.

En el modulo de transmisión (ver figura 4.6) se introduce la señal de IF proveniente del modulador CMF 62/16, que se pre-distorsiona para compensar la posterior

distorsión producida por su amplificador, al cual alimenta después con una portadora a 6 GHz formada con la mezcla de la señal de entrada y la generada por el oscilador local y, finalmente, amplifica el nivel de la señal RF a ser transmitida, hasta un valor mayor o igual a 29 dBm.

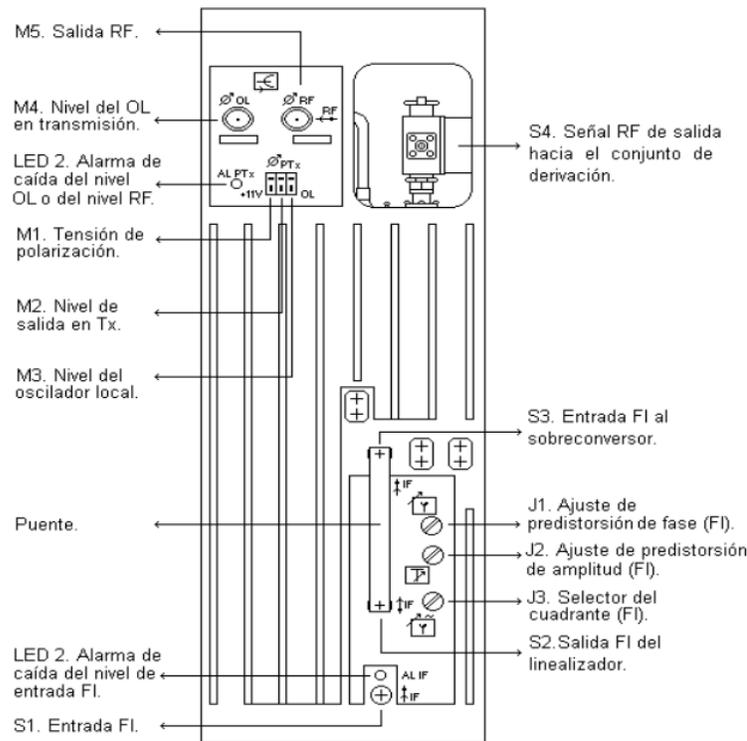


Figura 4.6: Vista externa del módulo transmisor, Siemens CTR 216

El receptor de diversidad de espacio convierte la señal entrante RF en una señal **IF**, mezclándola con la señal Oscilador Local proveniente del receptor principal. La señal **IF** se desfasa con un circuito controlado por un microprocesador y posteriormente se envía al receptor principal (figura) a través de una conexión que une dos seccionamientos externos para, una vez allí, combinarse con la señal a **IF** presente en el mismo.

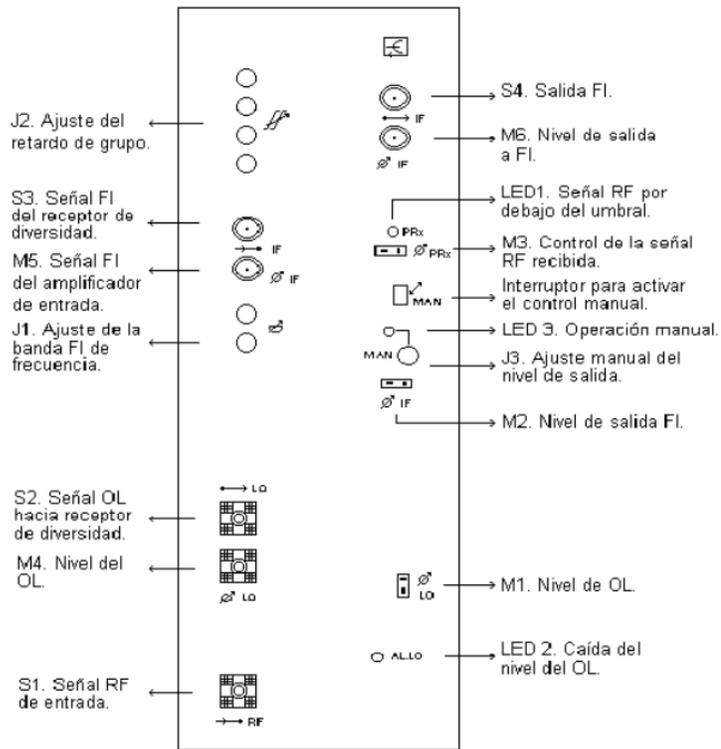


Figura 4.7: Vista externa del módulo receptor principal, Siemens CTR 216

4.1.4. Multiplexor MP 31/10 y MP 31-2

El equipo multiplexor digital MP 31/10 se utiliza para la transmisión de las señales de servicio, acoplando hasta 16 canales en una única señal de agregado a 704 Kbp/s. La unidad ha sido diseñada de manera tal que no requiere de una rígida rutina de mantenimiento. Está configurado en un solo módulo instalado en el bastidor de servicio, donde también se encuentra el panel de control.

Al retirar la tapa del módulo, el interior de éste observa como se indica en la figura 4.8. Posee un máximo de 23 tarjetas con funciones específicas, unidas mecánicamente al sistema, que pueden ser retiradas en caso de falla y cuando sea necesario sustituirlas por otras.

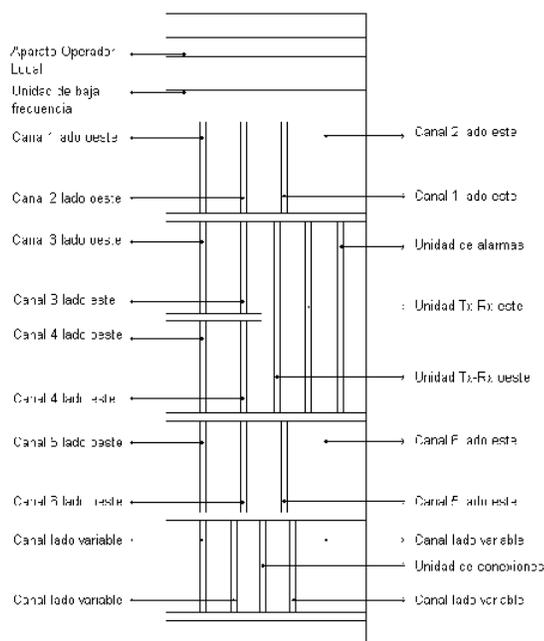


Figura 4.8: *Disposición de las unidades en el submódulo*

Dependiendo de la versión que se utilice, el número máximo de tarjetas que lo constituyen es:

- Versión terminal

- (a) 10 unidades de canales de telefonía o datos

- (b) 1 unidad de transmisión - recepción terminal

- (c) 1 unidad de alarmas local

- (d) 2 unidades de baja frecuencia para el aparato operador local

- (e) 1 unidad de conexiones a 64 kbps

- Versión terminal doble o extracción-inserción

- (a) 16 unidades de canales de telefonía o datos

- (b) 2 unidades de transmisión-recepción

- (c) 1 unidad de alarmas versión extraer-insertar (*drop-insert*)
- (d) 1 aparato operador local
- (e) 2 unidades de baja frecuencia para el aparato operador local
- (f) 1 unidad de conexiones a 64 kbps

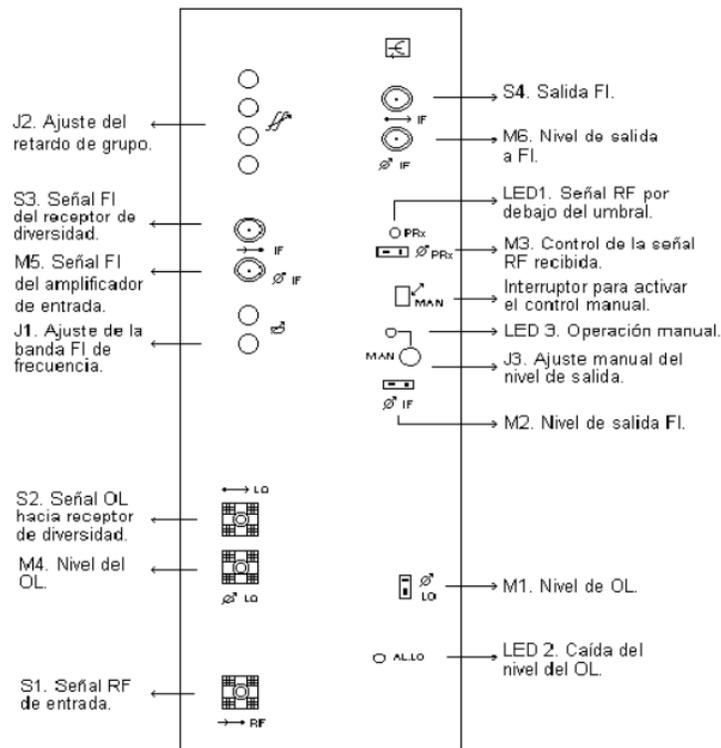


Figura 4.9: Vista externa del módulo receptor principal, Siemens CTR 216

Otro equipo multiplexor en uso en la red troncal de **PDVSA**, empleado para la multiplexación de jerarquías superior, es el multiplexor digital MP 31-2 forma el segundo orden jerárquico en la escala de multiplexación en tiempo de canales telefónicos según la **CCITT**. Su función es la de formar una señal agregada de 8448 kbps con cuatro señales tributarias de 2048 Kbps sin la necesidad del sincronismo total de la red (característica distintiva de los sistemas **PDH**). En la red de telecomunicación

SISUGAS, es usado con los radios de baja y media capacidad de la serie CTR 190-2, sólo en configuración terminal.

La disposición de estos equipos, tal como se encuentran instalados y en funcionamiento en la sala de radio ubicada en la azotea del edificio de PDVSA en La Campiña, puede apreciarse en la figura

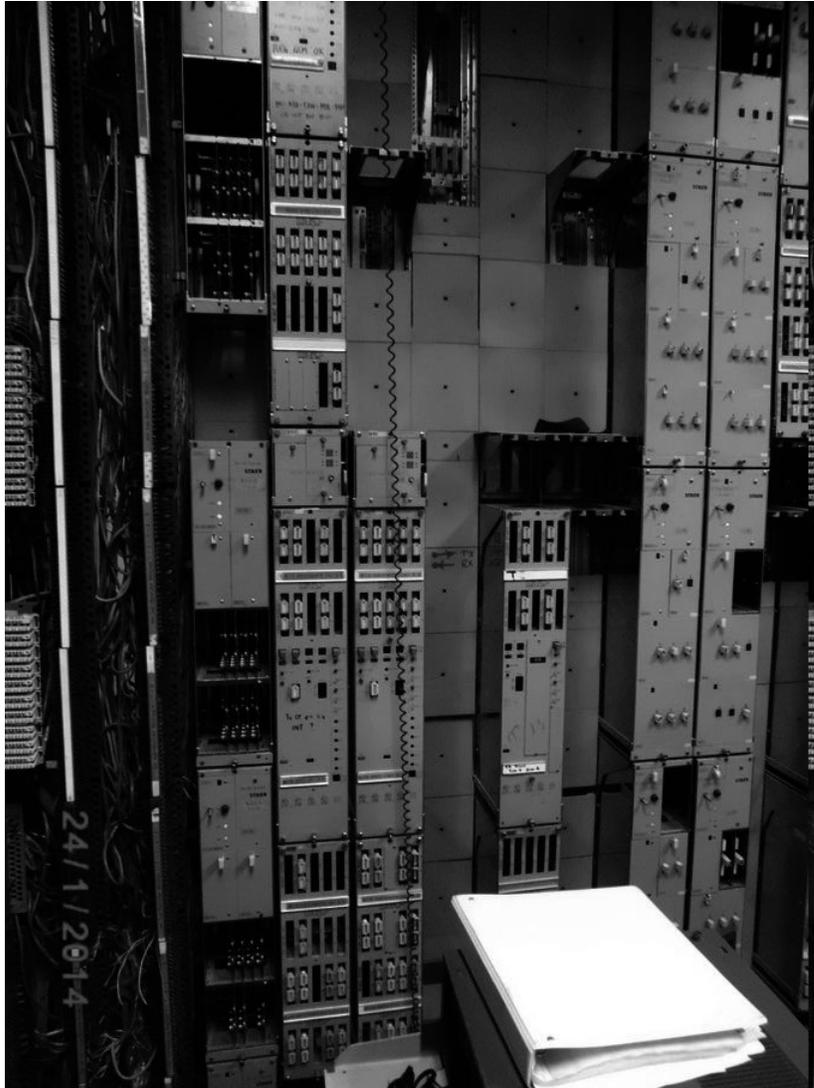


Figura 4.10: *Instalación módulos Siemens; banco de canales y multiplexor*

4.2. Migración de los servicios de telemetría

En esta sección se describen en forma detallada, los pasos que conformaron el proceso de migración de los canales de telemetría, desde la capa física, hasta la configuración lógica del multiplexor *Main Street 3600*.

4.2.1. Multiplexor Alcatel Mainstreet 3600

Para la migración de los tributarios que soportan servicios de telemetría en la red troncal de PDVSA, desde una red basada en tecnología PDH, a una basada en tecnología SDH, la gerencia de AIT asignó multiplexores marca ALCATEL (anteriormente Newbridge) modelo *Main Street 3600*, los cuales se comercializaron bajo el término de “gestor de ancho de banda”.

La elección de estos equipos se basó en la disponibilidad de los mismos, y en la confiabilidad comprobada para su uso en aplicaciones de transmisión de datos de telemetría en las redes de supervisión de pozos y yacimientos petrolíferos, demostrada por su amplia utilización en el occidente del país (lago de Maracaibo y costa oriental). A este respecto, y en vista de las características técnicas del equipo, mencionadas a continuación, se consideró apto para satisfacer la necesidad presentada.

De acuerdo al fabricante, el *Main Street 3600* es un nodo de red flexible e inteligente que combina las funcionalidades de un banco de canales inteligente, un conmutador digital de interconexión cruzada (*digital cross-connect switch*), un multiplexor integrado de voz y datos, además de un switch X.25, frame relay y ATM.

El equipo posee una arquitectura modular, propia de los equipos de telecomunicaciones con “calidad de operadora” (*carrier grade*); consistente en una placa base (*backplane*) de conmutación principal, en el cual se insertan las tarjetas para el manejo de servicios específicos (E1, T1, frame relay, ATM, etc). Cuenta con módulos de adaptación para las conexiones de éstos servicios según sea el uso que se requiera. Es controlado por una tarjeta de control (o dos, en el caso de configuración redundante), además de dos fuentes de alimentación independientes, a objeto de redundancia.

Entre las características del equipo, resaltan:

- (a) Hasta 32 interfaces E1/T1
- (b) Matriz de conmutación no bloqueante de hasta 64 Mbps
- (c) Redundancia en fuentes de poder y en sistema de control
- (d) Conversión entre expansión ley-A y ley- μ
- (e) Múltiple opciones de sincronización
- (f) Compresión de voz
- (g) Estadísticas para tarificación, análisis de tráfico, segmentación de fallas.
- (h) Configurable vía software
- (i) Gestión remota
- (j) Acceso [ATM](#) vía multiplexado inverso sobre [ATM](#)

El nodo *Main Street 3600* instalado en la sala de radio de la sede de [PDVSA](#) en La Campiña, Caracas, se muestra en la figura [4.11](#).



Figura 4.11: *Multiplexor Main Street 3600 nodo Campiña*

Conexión a través del puerto serial

Se puede tener conexión al nodo de gestión a través de uno de dos puertos seriales RS-232. Los puertos seriales están designados como SP1 (DCE) or SP2 (DTE). El equipo provee puertos de conexión en las siguientes ubicaciones

- (a) Directamente en la placa base (*backplane*) (SP1 y SP2)
- (b) Conexión delantera en la tarjeta de control
- (c) Conectores seriales en otras tarjetas distintas a la de control actúan únicamente como extensiones de los puertos seriales principales del sistema.

SP1 es una simple interfaz de 3 vías que soporta TxD, RxD, and **GND**. Únicamente para el SP1 **RTS** está conectada al **CTS** y **DTR** está conectada al **DSR**, a través

del *backplane*. SP2 soporta control a través de **CTS** o **RTS**, **DSR** o **DTR** y TxD, RxD y **GND**. Control de flujo por hardware es soportado únicamente por el puerto SP2.

Los conectores serial SP1 y SP2 a través de la placa base principal, así como de la correspondiente disposición de los pines de conexión, se muestran en la figura 4.12.

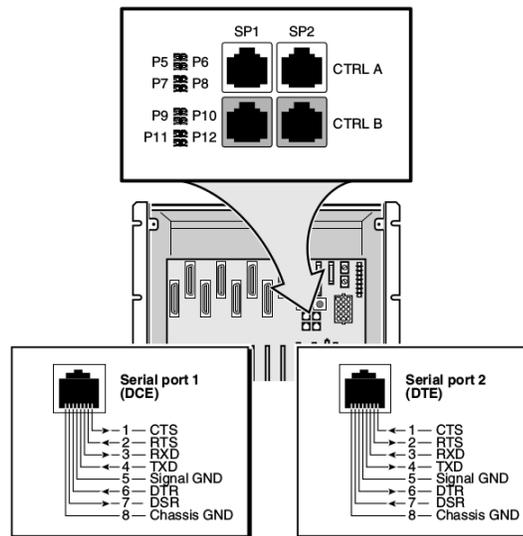


Figura 4.12: Puertos de conexión serial al Main Street 3600

4.2.2. Identificación de tributarios

El primer paso para realizar la migración de los servicios de telemetría de interés, una vez verificados cuales eran éstos, y cuales estaciones específicas atendía, consistió en realizar la identificación de los tributarios primarios; consistentes en pares telefónicos conectados a un banco de canales (se encarga de realizar la conversión **PCM** (ver 3.1.2), parte del cual puede observarse a la izquierda de la imagen 4.10. Para esta individualización resultó indispensable la documentación de la red que mantiene actualizada el personal de mantenimiento de la red de transmisión de **PDVSA**, región centro. En la figura 4.13 se tiene la distribución original de los canales a ser migrados.

Flujo A Tributario 1.3 RWS SISCO MP31 D/I		
CH	TS	NOMBRE DEL SERVICIO
3	3	SISUGAS CANAL 14 Est. Copetón
4	4	Operacional G.I Terepaima
7	7	SISUGAS CANAL 11 Est. Terepaima
19	20	Operacional G.I Campo Elías (Confirmar Operación)
26	27	SISUGAS CANAL 8 Est. Nirgua
29	30	SISUGAS CANAL 12 Est. Cerro el Café (Migrado a IP)

Flujo C Tributario 4.3 SISCO AWA DMS-2		
CH	TS	NOMBRE DEL SERVICIO
3	3	Operacional Proyecto ICO Est. EL Merito

Flujo A Tributario 1.2 SISCO RS MP31 D/I		
CH	TS	NOMBRE DEL SERVICIO
11	11	Operacional G.I. Copetón

Figura 4.13: Situación previa de los canales a ser migrados

4.2.3. Traslado de los tributarios individuales

Una vez identificada la posición exacta de los tributarios en el banco de canales del sistema PDH Siemens, se empleó un cable multipar telefónico (en este caso de 50 pares, puesto que era el que se encontraba disponible, se aprecia fotografía referencial en la imagen 4.14), a fin de canalizar los tributarios de interés al banco de canales que se había conectado previamente al nodo *Main Street 3600*, el cual puede apreciarse en la imagen 4.15, mientras que la imagen 4.16 muestra la conexión ya cableada de dos tributarios individuales. La conexión de los pares se realizó mediante conexión mecánica (*crimping*), con una herramienta diseñada para tal fin.



Figura 4.14: *Cable multipar de 50 pares
(fotografía referencial)*



Figura 4.15: *Banco de canales telefónicos del nodo Mainstreet*



Figura 4.16: *Conexión de dos tributarios individuales al nodo Mainstreet*

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Pruebas de conformidad

5.1.1. Medidor de errores en línea HP 4934A [TIMS](#)

Se realizaron mediciones de la calidad de los canales en banda vocal, empleando para ello, el equipo marca Hewlett Packard 4934A, el cual genera tonos de diversa frecuencia, dentro de la banda local, de tal manera que los mismos sean transmitidos a través del canal, y mediante la realización de un bucle (*loop*), se obtiene de vuelta el mismo tono, pudiéndose comparar las características de atenuación y posible distorsión que pudiese introducir el canal, alterando con ello la señal y por ende las características del enlace en cuanto a su capacidad de transmitir información, en este caso información digital modulada bajo un protocolo apto a tal efecto (en este caso V.32).

Las pruebas llevadas a cabo está contempladas por la norma [IEEE](#) 743, los métodos estándar y el equipamiento necesario para la medición de las características de transmisión de circuitos analógicos de frecuencia vocal.

En la figura [5.1](#) se observa la realización de las pruebas. Durante ésta, se envió un tono de prueba de 1 kHz con una amplitud de -5 dBm, recibándose el mismo sin alteraciones en su frecuencia, con una amplitud de +2 dBm. La variación en la amplitud viene dada por la ganancia introducida por los circuitos de compensación del bucle telefónico.

Las pruebas consistieron en el envío de tonos de frecuencia determinada, realizando bucles (*loopbacks*) en diversos tramos de la señal, de tal manera que se pudiese comparar la señal recibida con la señal enviada



Figura 5.1: *Evaluación de las características de los canales en banda vocal*

5.2. Configuración definitiva de los servicios migrados

Una vez realizada la asignación de los tributarios individuales para la conformación de la trama E1 a ser transportada a través de un enlace troncal **SDH**, y de realizadas las pruebas de comportamiento de los canales en banda vocal, la configuración definitiva de estas nuevas rutas, a nivel del enlace troncal en la red de **PDVSA**, puede observarse en la figura **5.2**.

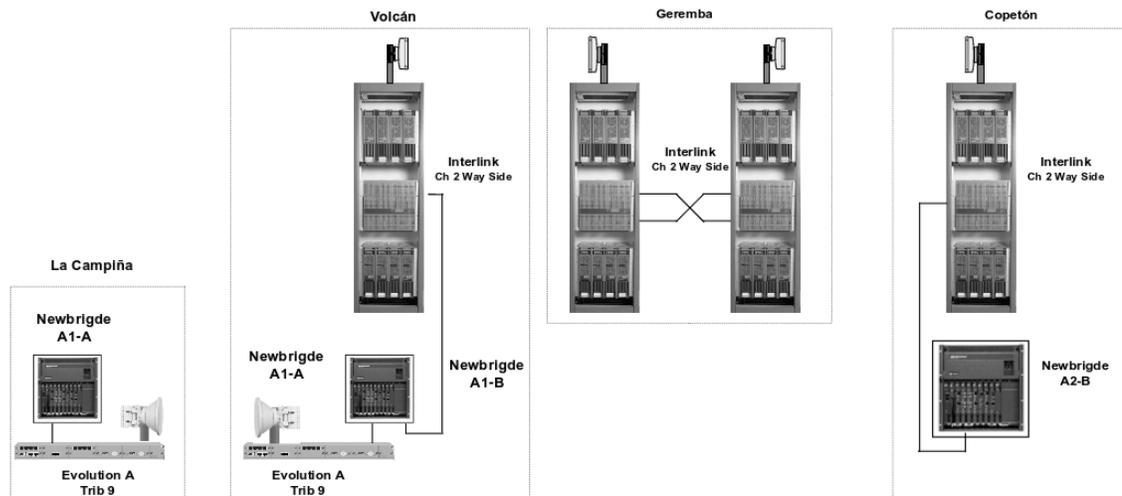


Figura 5.2: Configuración definitiva de los circuitos migrados dentro de la red troncal de PDVSA

La asignación de canales tributarios individuales en la nueva trama E1, quedó definitivamente configurada de la forma en que se indica en la fig 5.3 (compárese con la distribución inicial mostrada en la figura 4.13).

Propuesta para migración a Newbrigde 3600:

Newbrigde 3600 en Way Side Ch 2 Nera Interlink		
CH	TS	NOMBRE DEL SERVICIO
1	1	Sisugas Ch 11Terepaima
2	2	Sisugas Ch 8 Nirgua
3	3	Reservado Voz Operacional GI Menito desde Pico Alvarado
4	4	Sisugas Ch 14 Copetón
5	5	Operacional G.I. Terepaima
6	6	Operacional G.I Copetón
7	7	
8	8	
9	9	
10	10	
11	11	Reservado Operacional G.I. Volcán
12	12	Reservado Operacional G.D. Volcán

Figura 5.3: Asignación de los tributarios correspondientes a los canales migrados

CONCLUSIONES

Luego de la realización de las actividades descritas en el capítulo 4, así como del análisis de los resultados obtenidos, los cuales se expusieron en el capítulo 5, todo ello soportado por la documentación teórica de base, presentada en el capítulo 3, se alcanzó un conjunto de conclusiones que a continuación se exponen.

En base al carácter de los puntos descritos en el párrafo anterior, específicamente al ámbito concreto de aplicación y validez de los mismos, se ha considerado oportuno el separar el conjunto de conclusiones obtenidas en dos grupos; en primer lugar se expondrán aquellas de alcance particular, que atañen al ámbito específico en el cual se desarrolló el presente trabajo de grado. Se presentan luego conclusiones cuyo alcance resulta mucho más general, relativas a las características y particularidades de las tecnologías y sistemas empleados,

La información de telemetría en general, y en la industria petrolera en particular, resulta de una alta criticidad; sin bien presenta modestos requerimientos de velocidad de datos, se exige sin embargo que presente una alta disponibilidad, y está por tanto sujeta a constante monitoreo.

Respecto a lo anterior, la migración de los servicios de telemetría de estaciones de gas, en la red troncal de PDVSA, de estar basados originalmente en tecnología PDH, para luego ser transportados a través de una red SDH, representa sin duda una ventaja debido a las mucho más extensas capacidades de gestión, monitoreo y mantenimiento que se incluyen de forma estándar en esta última tecnología.

Una ventaja adicional de índole logístico y de soporte, radica en que los equipos y redes que se basan en tecnología PDH, al entrar en su fase de obsolescencia, representan un serio problema en cuanto al inventario de repuestos y piezas de recambio que deben tenerse obligatoriamente en depósito al operar una red dorsal de alta criticidad. En tal sentido el proceso de migración llevado a cabo se convierte, más que en una conveniencia, en una exigencia práctica.

El equipo asignado para la multiplexación de los canales de telemetría que fueron objeto de la migración; el “gestor de ancho de banda” *ALCATEL Main Street 3600*; demostró ser un equipo modular y flexible, con la robustez esperada de equipos diseñados para su empleo en redes troncales de alto tráfico y disponibilidad.

Se señala así mismo, que para la tarea de realizar la multiplexación de un conjunto de canales primarios en un E1, el equipo en cuestión se encuentra ciertamente sobredimensionado; mientras que es perfectamente capaz de cumplir con este rol, sus capacidades van ciertamente mucho más allá, pudiendo servir como nodo principal en una red *SDH/SONET* o *ATM*. Sin embargo, tal como se dijo en el capítulo 4, la gerencia de *AIT* cuenta con un amplio inventario de estos equipos, dado el extenso uso que se hace de los mismos, sobretodo en las redes de supervisión y telemetría en la región occidente, siendo ésta la razón de que fuesen asignados estos equipos para satisfacer la necesidad presentada.

En el proceso de configuración del equipo, para el ensamblado de la trama E1 en base a los canales *PCM* primarios de 64 kbps, el aspecto más delicado y por tanto con mayor propensión a ser configurado en forma errónea, resulta la señalización, la cual debe coincidir a lo largo de toda la ruta con los equipos corresponsales que insertan/extraen flujos o canales primarios de la trama E1.

La configuración del *Main Street 3600* a través de una interfaz de consola serial por línea de comandos, si bien resultó un grado de dificultad al principio, permitió luego alcanzar un mayor grado de familiaridad con las características, opciones y modo de funcionamiento del equipo. Se estima sin embargo que esta ventaja disminuye al operar en redes que contengan un elevado número de nodos de este tipo, en tal situación una interfaz gráfica permite una visualización mucho más rápida y fluida del estado y de las condiciones de la red.

Entre las conclusiones específicas, la última que se señala es que, los canales de banda vocal, multiplexados en un E1 para luego ser transmitidos, mediante enlaces en tecnología *SDH*, a través de la red troncal de *PDVSA* hasta la sala de control central y monitoreo en la sede de la empresa, comprobaron su idoneidad para la tarea para la cual fueron asignados, siendo que están prestando servicio para tal fin en este momento,

continuándose de esta manera con el proceso de migración en la forma en que estaban previstos en los planes operativos de la gerencia de [AIT](#).

Por último, en cuanto a las conclusiones de alcance más amplio, se tiene que, en el transcurso de la realización de éste trabajo, al detallar el proceso evolutivo de las tecnologías empleadas en redes troncales, de alta capacidad y tráfico, específicamente a través de sucesivos procesos de migración según van surgiendo nuevos esquemas y tecnologías, mientras que otras caen en la obsolescencia, se hace patente una marcada tendencia. Esta tendencia, cada vez más acentuada, consiste en la patente contradicción de base existente entre las tecnologías que tienen su origen en las redes telefónicas; deterministas, orientadas a la conexión, basadas en la conmutación de circuitos, sincronizadas en base a una referencia común, con capacidad de canal y calidad de servicio garantizada (o al menos con la posibilidad de garantizarla). Mientras en el otro espectro se ubican las redes y tecnologías que tienen su génesis en las redes de computadoras y la interconexión de éstas (Internet); son no deterministas, no orientadas a la conexión, basadas en la conmutación de paquetes (o tramas), no sincronizadas, sin calidad de servicio garantizada (*best effort*).

Estas fuertes contradicciones entre la robustez de las tecnologías que tienen su origen en las redes telefónicas, y la flexibilidad de las redes de computadoras, ha generado una gran cantidad de esfuerzo de investigación, desarrollo y producción, tendiente a conjurar las mejores características de ambos mundos, surgiendo de esta manera propuestas que permiten encapsular un tipo de tráfico en una red diversa (ejemplo: [IP](#) sobre [SDH](#) o incluso al contrario), o que buscan incluir características de ambos modelos desde el principio de su diseño básico; ej, [MPLS](#). Aunque esta tendencia parece estar decidiendo a favor de las redes [IP](#), algunas de sus características, mencionadas con anterioridad, hacen que la coexistencia de estos modelos “híbridos” continúe previsiblemente en un mediano e incluso largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] (2014) Fortune global 500 2014. [Online]. Disponible en: http://fortune.com/global500/pdvs-41/?iid=G500_fl_list
- [2] (1988) G.733: Characteristics of primary pcm multiplex equipment operating at 1544 kbit/s. [Online]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.733-198811-I/en>
- [3] J. Bellamy, *Digital Telephony*. Wiley, 1991.
- [4] D. Smith, *Digital Transmission Systems*, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [5] *IEEE Standard Dictionary of Electrical and Electronic Terms*, 6th ed. IEEE Press, 1996.
- [6] (1998) G.704 : Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels. [Online]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.704/en>
- [7] C. Franco y B. J. Ortega Tamarit, *Redes Ópticas*. Universidad Politécnica de Valencia.