



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

## **TELEMEDIDA A TRAVÉS DE RED SATELITAL DE DOBLE SALTO**

Yasser Estuardo Samayoa Paredes  
Asesorado por Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, mayo de 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

TELEMEDIDA A TRAVÉS DE RED SATELITAL DE DOBLE SALTO

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**YASSER ESTUARDO SAMAYOA PAREDES**

ASESORADO POR ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MAYO DE 2005

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahan Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Edmundo Enrique Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Ing. Ingrid Salomé García Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vásquez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **TELEMEDIDA A TRAVÉS DE RED SATELITAL DE DOBLE SALTO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 16 de septiembre de 2004, ref. EIME 157.2004.

---

YASSER ESTUARDO SAMAYOA PAREDES

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por mi vida, por enseñarme el verdadero sentido de la misma, y sin lugar a dudas, porque a él converge la razón de todos mis logros y de todos los agradecimientos que puedo ofrecer.

### **A mi madre**

María Victoria Paredes, por su incondicional amor y apoyo. Por ser la maestra de mi persistencia y por enseñarme a caminar la montaña de la vida. Gracias por todo.

### **A mi padre**

Israel Samayoa, por sus consejos durante toda mi existencia.

### **A mis hermanitos**

Allan y Shery, por ser mis angelitos desde el cielo.

### **A mis abuelos**

Julio Aurelio (Q.E.P.D) y María Dolores, por brindarme su amor y apoyo como a un hijo.

### **A mis tíos y primos**

Yeri, Violeta, Daniel, Jorge, Carlos, Roberto (Q.E.P.D), Yessi y Maribel, por todo su apoyo desde mi niñez.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis amigos y compañeros de estudios, en especial a: Juan Ricardo Ríos, Marco Vinicio Pellecer, Edwin Castro, Juan Carlos García, Juan Pablo Hurtarte, Jesús Alberto Martínez, Edwin Felipe Morales, César Humberto Orellana, Juan Vásquez y Ronald Fuentes.

A mis amigos de siempre, en especial a Rodrigo, Francisco, Max, Yohana, Mónica y Sandra Palencia, por compartir su filosofía de vida conmigo.

A los presbíteros y grupos cristianos juveniles de la parroquia Santa María Goretti.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala, al claustro de catedráticos y personal administrativo por su dedicación en la enseñanza y apoyo hacia mí.

A Priscila Ojeda, Josué Orozco y Keyla Barahona, por su ayuda brindada para la realización de este trabajo de graduación.

A mi asesor Ing. Enrique Ruiz, por sus consejos y su apoyo para conmigo en la realización de este trabajo.

A UFINET, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo de graduación y por su apoyo en el inicio de mi carrera laboral.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>VI</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XIV</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>XVI</b>
<b>1 CONCEPTOS INTRODUCTORIOS.....</b>	<b>1</b>
1.1    Introducción a las telecomunicaciones .....	2
1.2    Sistemas de telecomunicaciones .....	4
1.3    Redes .....	4
1.3.1    Ventajas de las redes.....	4
1.3.2    Topologías de red .....	5
1.3.2.1    Topología de bus.....	6
1.3.2.2    Topología de anillo .....	6
1.3.2.3    Topología en estrella .....	7
1.3.2.4    Topología en malla completa.....	7
1.3.2.5    Topología irregular .....	8
1.3.3    Clasificaciones de redes .....	8
1.3.3.1    Redes LAN. ....	8
1.3.3.2    Redes MAN. ....	8
1.3.3.3    Redes WAN.....	9
1.3.3.4    Redes inalámbricas. ....	9
1.4    Redes conmutadas.....	9
1.4.1    Conmutación de circuitos.....	10

1.4.2	Conmutación de paquetes .....	11
1.4.3	Conmutación de paquetes frente a circuitos.....	12
1.5	Red X.25 .....	13
1.5.1	Introducción .....	13
1.5.2	Características de X.25.....	16
1.5.3	Niveles de X.25.....	16
1.5.3.1	Nivel físico de X.25.....	16
1.5.3.2	Nivel de enlace de X.25 .....	17
1.5.3.3	Opciones del canal X.25 .....	18
1.5.4	Elementos de red X.25 .....	24
1.5.4.1	Difusor.....	24
1.5.4.2	PAD.....	25
1.5.5	Formato del paquete.....	28
1.6	Redes TCP/IP .....	29
1.6.1	El protocolo TCP/IP. ....	29
1.6.2	Arquitectura del protocolo TCP/IP .....	30
1.6.2.1	Capa de acceso a la red .....	31
1.6.2.2	Capa de internet.....	31
1.6.2.3	Capa de transporte.....	32
1.6.2.4	Capa de aplicación.....	33
1.6.3	Elementos de red.....	34
1.6.3.1	Hub.....	34
1.6.3.2	Switch.....	34
1.6.3.3	Router .....	35
<b>2</b>	<b>REDES ELÉCTRICAS .....</b>	<b>37</b>
2.1	Energía eléctrica .....	37
2.1.1	Energía .....	37
2.1.2	Electricidad .....	38
2.2	Generación, transporte y distribución de electricidad.....	39

2.2.1	Historia.....	40
2.2.2	Subsector eléctrico actual.....	42
2.2.3	Ministerio de Energía y Minas.....	43
2.2.4	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.....	44
2.2.5	Administración del Mercado Mayorista.....	45
2.3	Comercialización de energía eléctrica.....	47
2.3.1	Medición eléctrica.....	48
2.3.2	Medidores.....	48
2.3.3	Medidores electromecánicos.....	49
2.3.4	Medidor electrónicos.....	50
2.3.5	Evolución de medidores electrónicos.....	51
2.3.6	Funcionamiento de un medidor electrónico.....	52
<b>3</b>	<b>SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN POR SATÉLITE.....</b>	<b>55</b>
3.1	Introducción.....	55
3.2	Estructura de un sistema de radiocomunicación por satélite.....	55
3.2.1	Estación terrena.....	56
3.2.2	Antena.....	59
3.2.3	Transmisor.....	63
3.2.4	Receptor.....	65
3.2.5	Los enlaces ascendente y descendente.....	67
3.3	Recursos de un sistema de radiocomunicación por satélite.....	67
3.3.1	Órbita.....	68
3.3.2	Cobertura.....	68
3.3.3	Acceso múltiple.....	69
3.3.4	Ancho de banda.....	69
3.3.5	Potencia.....	70
3.4	Técnicas de acceso múltiple al satélite.....	70
3.4.1	Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA.....	71
3.4.2	Acceso múltiple por división de tiempo TDMA.....	73

3.4.3	Acceso múltiple por división de código CDMA.....	76
3.4.4	Acceso múltiple por asignación por demanda DAMA .....	78
3.5	Estructura de paquetes .....	79
3.5.1	Ruta saliente.....	79
3.5.2	Ruta entrante .....	80
3.6	Accesos al enlace espacial .....	81
3.6.1	Aloha .....	83
3.6.2	Reserva de transacciones .....	84
3.6.3	<i>Stream</i> .....	84
3.6.4	Método de acceso adaptable.....	84
3.6.5	Conmutación de ruta entrante .....	85
3.6.6	Optimización de Aloha.....	85
3.7	Sistema VSAT .....	86
3.7.1	Hub central .....	88
3.7.2	Configuraciones de redes VSAT.....	89
3.7.2.1	Red en estrella en un salto.....	89
3.7.2.2	Red en malla .....	90
3.7.2.3	Redes en estrella de doble salto .....	92

#### **4 TELEMEDIDA A TRAVÉS DE RED SATELITAL DE DOBLE**

<b>SALTO .....</b>	<b>93</b>	
4.1	Telemedida .....	93
4.2	Red VSAT de doble salto.....	94
4.2.1	¿Porqué VSAT?.....	94
4.2.2	Limitaciones de las redes VSAT .....	95
4.2.3	Características generales de la red VSAT .....	96
4.3	Sistema de telemedida a través de red satelital de doble salto .....	100
4.3.1	Topología de red.....	100
4.3.2	Red X.25.....	101

4.3.2.1	Características del sistema propuesto.....	104
4.3.2.2	Procedimiento para la telemedición.....	110
4.3.3	Ethernet .....	112
<b>5</b>	<b>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN .....</b>	<b>115</b>
5.1	Introducción .....	115
5.2	Métodos de evaluación.....	116
5.2.1	Valor presente neto (VPN) .....	116
5.2.2	Tasa interna de rendimiento (TIR) .....	117
5.3	Comparación entre proyectos propuestos.....	118
5.3.1	Medición actual .....	118
5.3.2	Telemedida por red satelital de doble salto.....	119
5.3.3	Análisis financiero .....	120
5.3.3.1	Proyecto 1 .....	120
5.3.3.2	Proyecto 2 .....	124
5.3.4	Comparación de proyectos .....	127
5.3.5	Ventajas y desventajas entre los dos proyectos .....	129
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>135</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>136</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Componentes de un sistema de comunicaciones	3
2	Topología red bus	6
3	Topología red anillo	6
4	Topología red estrella	7
5	Conmutación de circuitos	10
6	Conmutación de paquetes	12
7	Regeneración y encaminamiento en X.25	15
8	Circuito virtual permanente (PVC) X.25	19
9	Llamada virtual (VC) X.25	21
10	Llamada de selección rápida en X.25	22
11	Llamada rápida con liberación inmediata	23
12	Diagrama lógico del difusor	24
13	Comunicación de DTE de usuario con un DTE en modo paquete	26
14	Comunicación entre DTE y DTE	26
15	PAD extremo a la red	27
16	Paquetes X.25/PAD	29
17	Sub-sector eléctrico de Guatemala	44
18	Medidor electrónico	54
19	Estructura de un sistema de radiocomunicación por satélite	57
20	Diagrama básico de una estación terrena	58
21	Tipos de antena	61
22	Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA	73

23	Acceso múltiple por división de tiempo TDMA	75
24	Formato de trama de ruta saliente	80
25	Formato de trama de ruta entrante	81
26	Trama de impulso ( <i>burst frame</i> )	82
27	Acceso al enlace espacial	83
28	Topología en estrella, red VSAT	91
29	Topología en malla, red VSAT	92
30	Huella Hipasat	99
31	Enlace VSAT - VSAT	100
32	Telemedida por red satelital de doble salto en X.3	104
33	Funcionamiento del difusor	110
34	Telemedida por red satelital de doble salto en ethernet	114

## TABLAS

I	Flujo de caja, medición tradicional	121
II	Periodo de recuperación	122
III	Valor actual neto del proyecto 1	123
IV	VAN/TIR, proyecto 1	124
V	Flujo de caja, telemedida	125
VI	Periodo de recuperación, proyecto telemedida	126
VII	Valor actual neto del proyecto 2	127
VIII	VAN/TIR del proyecto 2	128
IX	Cuadro comparativo de proyectos	128

## GLOSARIO

<b>Acceso múltiple</b>	La capacidad de más de un usuario para utilizar un transpondedor. Los transpondedores pueden ser accedidos de tres formas: por frecuencia, por tiempo y por código.
<b>Acimut</b>	Ángulo medido desde el norte verdadero en dirección de las agujas del reloj hasta un punto determinado, puede tomar cualquier valor entre 0° y 360°.
<b>Amplificador</b>	Dispositivo que aumenta el nivel de las señales.
<b>Amplificador de alta potencia HPA</b>	Elemento del transpondedor del satélite encargado de entregar señales con suficiente nivel para que puedan ser recibidas en la tierra a partir de señales de entrada con niveles bastantes bajos.
<b>Amplificador de bajo ruido LNA</b>	Dispositivo que aumenta el nivel de señales muy débiles, distorsionando muy poco la señal.
<b>Ancho de banda</b>	Espectro o rango ocupado de frecuencias. Se obtiene de la diferencia entre la frecuencia superior y la inferior.

<b>Antena</b>	Elemento encargado de emitir y captar señales, convierte energía eléctrica en electromagnética y viceversa.
<b>Banda base</b>	Señal sin modificar, es proporcionada por la fuente de la información, puede ser una señal de audio, datos o video.
<b>Bit</b>	Unidad binaria de información representada por un dígito binario o por uno de dos estados eléctricos.
<b>Cassegrain</b>	Tipo de antena formada por un lector paraboidal y subreflector hiperbólico que permite colocar el alimentador orientado hacia el satélite.
<b>Codificación</b>	Circuito que modifica una señal de acuerdo con ciertas normas con el objeto de reducir los errores en su recuperación.
<b>Comunicación <i>full duplex</i></b>	Capacidad de un canal de transmitir y recibir información al mismo tiempo.
<b>Convertidor de bajada</b>	Equipo de la estación terrena encargado de convertir la señal en RF proveniente del satélite en una frecuencia inferior denominada frecuencia intermedia.

<b>Convertidor de subida</b>	Equipo de la estación terrena encargado de convertir una señal de frecuencia intermedia a una frecuencia superior para que dicha señal pueda ser transmitida a través del espacio.
<b>DCE</b>	<i>Data communication equipment</i> o equipo de comunicación de datos.
<b>Desmodulación</b>	Recuperación de una señal que ha sido previamente combinada con otra de mayor frecuencia para facilitar su transmisión a través del espacio.
<b>Difusor</b>	Dispositivo encargado de multiplexar señales seriales entre N puertos y el puerto maestro.
<b>DTE</b>	<i>Data terminal equipment</i> o equipo terminal de datos.
<b>Duplexor</b>	Elemento utilizado para poder separar las señales de transmisión y recepción con objeto de utilizar la misma antena para los dos propósitos.
<b>Enlace</b>	Comunicación entre dos o más puntos. Un enlace satelital es la comunicación entre dos estaciones terrenas utilizando un satélite como repetidor.

<b>Enlace de bajada <i>downlink</i></b>	Comunicación que va del satélite que actúa como transmisor hacia la estación terrena que actúa como receptor.
<b>Enlace de subida <i>uplink</i></b>	Comunicación que va de la estación terrena que actúa como transmisor hacia el satélite que actúa como receptor.
<b>Hub</b>	Estación que proporciona un punto en común de conexión para la red de estaciones VSAT y otros dispositivos.
<b>IDU</b>	Unidad interna.
<b>IRD</b>	Unidad integrada remota digital.
<b>Klystron</b>	Tipo de amplificador en estaciones terrenas.
<b>Multiplexor</b>	Dispositivo que distribuye, conecta y combina señales para amplificadores y antenas en un sistema de comunicaciones.
<b>PAD</b>	Ensamblado/desensamblado de paquetes. Sirve para interconectar un sistema en X.3 a X.25.
<b>PIRE</b>	Potencia efectiva isotrópica radiada.

<b>Polarización</b>	Propiedad por la cual las ondas electromagnéticas exhiben una dirección de vibración o sentido de rotación de ésta.
<b>Portadora</b>	Señal específica de frecuencia que transmite información.
<b>QPSK</b>	Tipo de modulación, definida como modulación de cuadratura diferencial de fase.
<b>Telemedida</b>	Cualquier medición que se realice a larga distancia, es decir, que haya algún enlace o canal de comunicación entre el medidor y la estación encargada de recopilar datos.
<b>Traspondedor</b>	Componente de un satélite que mediante un filtro selecciona una porción de señales recibidas en una banda, formando así un canal de banda ancha, las traslada en frecuencia y las amplifica y las vuelve a filtrar para su retransmisión.
<b>X.25</b>	Tecnología y familia de protocolos orientados a conmutación de circuitos.
<b>VSAT</b>	Very Small Apertura Terminal. Tipo de antena de diámetro entre 3 y 1 metro.

## RESUMEN

La energía eléctrica es fundamental para que un país pueda crecer y llegar al desarrollo. Este servicio, como cualquier otro, es comercializado entre participantes que integran el sub-sector eléctrico del país. De aquí surge la necesidad de la telemedición.

La telemedición a la cual nos referimos es el proceso de cuestionar a los medidores instalados en diversos puntos del área de Guatemala con el fin de obtener sus respectivas bases de datos y concentrarlas en un mismo lugar para su respectivo análisis. La información proporcionada por los medidores se utiliza para facturación entre los diferentes integrantes de la negociación de energía en el país.

Para implantar un sistema de telemedición en donde los puntos de interés puedan estar en cualquier lugar del país, se propone como medio de comunicación una red satelital VSAT de doble salto por sus diversas ventajas, como por ejemplo: la accesibilidad a cualquier punto siempre y cuando exista visibilidad en el emplazamiento entre el satélite y el punto de interés; el 99.5 % de disponibilidad y el rápido despliegue de la red.

Los enlaces por satélite para la telemedición, en comparación con la medición artesanal en donde las personas se desplazan a los diversos puntos para obtener los datos de los medidores, es recomendable por diversas razones: el bajo tiempo de respuesta, la seguridad, los costos de inversión recuperables a menor tiempo, etc.

# OBJETIVOS

## Generales

1. Conceptualiza la necesidad de la telemedida en una red de distribución eléctrica, especialmente en la realidad de Guatemala.
2. Presentar las bases teóricas para el diseño de un sistema de telemedida, especialmente utilizando como medio de comunicación una red satelital de doble salto.

## Específicos

1. Dar a conocer los criterios necesarios para optar por algún medio de comunicación, entre los disponibles para la telemedida, en función de las ventajas y desventajas que presentan cada uno de estos medios.
2. Ampliar y crear nueva bibliografía referente a las redes satelitales, en especial las redes satelitales de doble salto; indicar los métodos de accesos que pueden disponerse en el mercado hoy en día.
3. Externar y compartir los resultados de las pruebas así como del conocimiento adquirido por el autor a lo largo de la investigación, a lectores nacionales interesados en nuevos temas interesantes y novedosos.

## INTRODUCCIÓN

Al día de hoy, y después de todas las metamorfosis requeridas, las telecomunicaciones proporcionan a los interesados una economía de tiempo y una reducción de distancias, entre muchos otros beneficios. Unas cuantas décadas atrás se hubiera catalogado como ciencia ficción las múltiples opciones ofrecidas por las telecomunicaciones hoy en día. Ahora no existe únicamente comunicación entre seres humanos, ahora es posible y necesaria la comunicación entre máquinas y entre personas y máquinas, y en la mayoría de casos bidireccionalmente.

La telemedida es un claro ejemplo de una aplicación moderna de la tecnología. Considérese a la telemedida como una técnica mediante la cual la medida de una magnitud se transmite a distancia para que sea registrada y actúe sobre un proceso o sistema.

Desde los primeros medios de comunicación utilizados para la telemedida, como un simple par de cobre hasta las más refinadas técnicas de transmisión por radioondas, se ha podido apreciar un avance extraordinario en la capacidad para la medición a distancia. Esto no es de extrañar, pues cada vez es mayor la necesidad de sistemas de telemedida en todos los campos de la vida moderna, además de la motivación que ha inyectado el surgimiento de nuevas técnicas de comunicación.

El presente trabajo de graduación incursiona en la telemedida utilizando como canal de comunicación una red satelital de doble salto. El objetivo que persigue es proponer opciones para supervisar los puntos de compra-venta de energía eléctrica del subsector eléctrico guatemalteco. Se dice que propone opciones para la comunicación, pues la topografía guatemalteca impide el uso de otros medios de comunicación a unas magnitudes económicas tan bajas como las ofrecidas por la red satelital en la gran mayoría del área guatemalteca.

Por ejemplo, las mediciones de parámetros relacionados con la compra-venta de energía eléctrica en las salidas de cada transformador de las subestaciones eléctricas podrían contrastarse con la energía medida en los contadores de los clientes, proporcionando una herramienta eficaz para la permanente cuantificación, localización y abatimiento de las pérdidas de energía.

También se podría aprovechar un sistema como éste para generar curvas de tensión y corriente que permitan detectar valores fuera de los rangos de tolerancias o sobrecargas.

Actualmente estas soluciones se pueden implantar en medidores principales o críticos para la compra-venta de energía. Sin embargo, siendo optimistas, se puede visualizar un futuro no muy lejano en donde todos los medidores en puntos de compra o venta puedan ser telemedidos y así tanto los usuarios como las empresas de distribución llevarían un mejor control económico y técnico de los elementos que dependen de la energía eléctrica.



# 1 CONCEPTOS INTRODUCTORIOS

Como en todo campo de interés y para la total comprensión de un tema, se recomienda iniciar el estudio con los conceptos más elementales posibles. De esta forma, iniciaremos este trabajo con la finalidad de cumplir los objetivos establecidos en un inicio.

Iniciamos este primer capítulo recordando un concepto básico y que todo ser humano experimenta al inicio de su existencia: comunicación. Desde el punto de vista etimológico, la palabra "comunicación" proviene de la raíz latina *communicare*, es decir, "hacer común" algo.

Comunicación es el estudio de la teoría y principios del origen, emisión, recepción e interpretación de mensajes independientemente de la cantidad y de la calidad de mensajes emitidos.

Se da a entender de manera general ya que no se especifica quién o quiénes son los ejecutantes, no establece ningún distingo entre la comunicación implicada en la interacción de materia animada o inanimada o entre animales y seres humanos.

## 1.1 Introducción a las telecomunicaciones

Tomando conciencia del significado de comunicación, la palabra telecomunicaciones significa: comunicar a distancia. Esto constituye precisamente el problema central de las telecomunicaciones

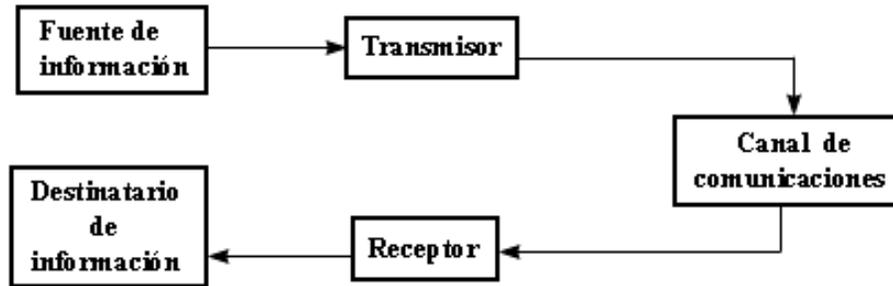
Se trata de saber cuál es la mejor manera de hacer llegar al destinatario la información generada por la fuente, de manera rápida (por la importancia y la necesidad de la información), segura (para garantizar que la información llegue a quien estaba destinada), y veraz (esto garantiza que el proceso de transmisión es totalmente transparente y no alterará el contenido de la información).

El problema central de las telecomunicaciones también fue definido con claridad por Shannon<sup>2</sup>, quien estableció que un sistema de comunicaciones consiste en cinco componentes:

1) una fuente de información, 2) un transmisor de información cuya función consiste en depositar la información proveniente de la fuente en un canal de comunicaciones, 3) un canal de comunicaciones a través del cual se hace llegar la información de la fuente al destino, 4) un receptor que realiza las funciones inversas del transmisor, es decir, extrae la información del canal y la entrega al destinatario, y 5) un destinatario.

Los componentes de un sistema de comunicación se pueden apreciar gráficamente en la figura 1.

**Figura 1. Componentes de un sistema de comunicaciones**



El hecho de reconocer el valor estratégico de la transmisión de la información, data desde la Primera Guerra Mundial, y en ese entonces se le dio algunos elementos que hasta esos momentos no habían sido considerados importantes: no era suficiente que llegara la información a su destino, sino que debía llegar de manera confiable y segura, sin la posibilidad de ser interceptada o escuchada por otras personas a pesar de la presencia inevitable del ruido en los canales de comunicaciones. Estos problemas constituyen los temas centrales de la teoría de la información.

Los servicios y sistemas basados en tecnologías modernas que actualmente tiene a su disposición la humanidad cubren una amplia gama que va desde la telefonía hasta la transmisión de datos por medio de redes donde las computadoras establecen "diálogos" entre sí, pasando por todos los sistemas de comunicación con que gran parte del mundo se enfrenta todos los días.

## **1.2 Sistemas de telecomunicaciones**

La complementación de diferentes tecnologías y el desarrollo de muchas de ellas ha dado a las telecomunicaciones un grado de avance que hace apenas dos décadas y media era totalmente insospechable. Enumerarlos y saber cómo funcionan constituye todo un reto: desde el servicio básico de telefonía, pasando por los distintos esquemas de radiotelefonía tanto la móvil y la portátil, hasta llegar al videotexto, las redes privadas y públicas de transmisión de datos, las redes digitales con servicios integrados, la radiodifusión, la televisión, los servicios de valor agregado como el teletexto, el fax, la localización de personas, de vehículos y casi todos los servicios que se prestan con las redes modernas.

## **1.3 Redes**

Son varias las definiciones aceptadas por la industria; la más sencilla de todas es probablemente la siguiente: un grupo de ordenadores (y terminales en general) interconectados a través de uno o varios caminos o medios de transmisión.

Las redes tienen una finalidad concreta: transferir e intercambiar datos entre ordenadores y terminales. Es el intercambio de datos lo que permite funcionar a los múltiples servicios telemáticos que ya consideramos parte de nuestras vidas: cajeros automáticos, correo electrónico, internet, etc.

### **1.3.1 Ventajas de las redes**

Las redes de computadoras presentan varias ventajas importantes de cara a los usuarios, ya sean empresas o particulares.

- a) Las organizaciones modernas suelen estar bastantes dispersas, y a veces incluyen empresas distribuidas en varios puntos de un país o extendidas por todo el mundo. Muchas de las computadoras y terminales situados en los distintos lugares necesitan intercambiar datos e información, y con frecuencia ese intercambio ha de ser diario. Mediante una red puede conseguirse que todas esas computadoras intercambien información, y que los programas y datos necesarios estén al alcance de todos los miembros de la organización.
  
- b) La interconexión de ordenadores permite que varias máquinas compartan los mismos recursos. Así, por ejemplo, si un ordenador se satura por estar sometido a una carga de trabajo excesiva, podemos utilizar la red para que otro ordenador se ocupe de ese trabajo, consiguiendo así un mejor aprovechamiento de los recursos.
  
- c) Las redes pueden resolver también un problema de especial importancia: la tolerancia entre fallos. En caso de que un ordenador falle, otro pueda asumir sus funciones y su carga de trabajo.
  
- d) El empleo de redes confiere una gran flexibilidad a los entornos laborales. Los empleados pueden trabajar desde sus casas, utilizando terminales conectados con el ordenador de la oficina.

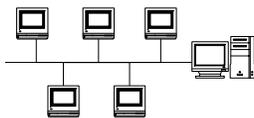
### **1.3.2 Topologías de red**

La topología de una red es la disposición de los diferentes componentes dentro de una red. La topología idónea para una red concreta va a depender de diferentes factores, como el número de máquinas que se van a interconectar, el tipo de acceso o el medio físico con que podamos disponer, economía, etc.

### 1.3.2.1 Topología de bus

La topología de bus tiene todos sus nodos conectados directamente a un enlace y no tiene ninguna otra conexión entre nodos. Físicamente cada *host* está conectado a un cable común, por lo que se pueden comunicar directamente, aunque la ruptura del cable hace que los *hosts* queden desconectados. Esta topología se puede observar en la figura 2.

**Figura 2. Topología red bus**

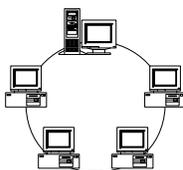


### 1.3.2.2 Topología de anillo

Una topología de anillo se compone de un solo anillo cerrado formado por nodos y enlaces en el que cada nodo está conectado solamente con los dos nodos adyacentes, así como se muestra en la figura 3.

Los dispositivos se conectan directamente entre sí por medio de cables en lo que se denomina una cadena margarita. Para que la información pueda circular, cada estación debe transferir la información a la estación adyacente.

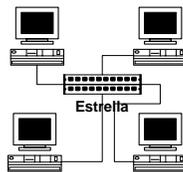
**Figura 3. Topología red anillo**



### 1.3.2.3 Topología en estrella

La topología en estrella tiene un nodo central desde el que se irradian todos los enlaces hacia los demás nodos. La configuración de esta topología se puede apreciar en la figura 4, en la cual se hace lógico que por el nodo central pasa toda la información que circula por la red.

**Figura 4. Topología red estrella**



La ventaja principal es que permite que todos los nodos se comuniquen entre sí de manera conveniente. La desventaja principal es que si el nodo central falla, toda la red se desconecta.

### 1.3.2.4 Topología en malla completa

Cada nodo se conecta físicamente a los demás, creando una conexión redundante. Si algún enlace deja de funcionar, la información puede circular a través de cualquier cantidad de enlaces hasta llegar al destino. Además, esta topología permite que la información circule por varias rutas a través de la red.

### **1.3.2.5 Topología irregular**

En este tipo de topología no existe un patrón obvio de enlaces y nodos. El cableado no sigue un modelo determinado; de los nodos salen cantidades variables de cables. Las redes que se encuentran en las primeras etapas de construcción, o se encuentran mal planificadas, a menudo se conectan de esta manera.

### **1.3.3 Clasificaciones de redes**

Son muchas las posibles clasificaciones de las redes, pero cada una de ellas poseen diferentes propiedades. A continuación se detallan brevemente las más comunes.

#### **1.3.3.1 Redes LAN**

Las redes de área local (*Local Area Network*) son redes de ordenadores cuya extensión es del orden de entre 10 metros a 1 kilómetro. Generalmente usan la tecnología de difusión o *broadcast*, es decir, aquella en que a un sólo cable se conectan todas las máquinas. Como su tamaño es restringido, el peor tiempo de transmisión de datos es conocido, siendo velocidades de transmisión típicas de LAN las que van de 10 a 100 Mbps (megabits por segundo).

#### **1.3.3.2 Redes MAN**

Las redes de área metropolitana (*Metropolitan Area Network*) es básicamente una versión más grande de una LAN. Podría abarcar un grupo de oficinas corporativas cercanas a una ciudad o podría ser privada o pública. Por eso, en su tamaño máximo comprenden un área de unos 10 kilómetros.

### **1.3.3.3 Redes WAN**

Las redes de área amplia (*Wide Area Network*) tienen un tamaño superior a una MAN. Esta subred está formada por una serie de líneas de transmisión interconectadas por medio de ruteadores (*routers*), aparatos de red encargados de rutear o dirigir los paquetes hacia la LAN o *host* adecuado. Esto se realiza enviando los paquetes de un ruteador a otro. Su tamaño puede oscilar entre 100 y 1,000 kilómetros.

### **1.3.3.4 Redes inalámbricas**

Las redes inalámbricas son redes cuyos medios físicos no son cables de cobre de ningún tipo, lo que las diferencia de las redes anteriores. Están basadas en la transmisión de datos mediante ondas de radio, microondas, satélites o infrarrojos.

## **1.4 Redes conmutadas**

Para explicar este concepto o característica de las redes conmutadas, se tomará como ejemplo una de las primeras redes del mercado de las telecomunicaciones, la red telefónica.

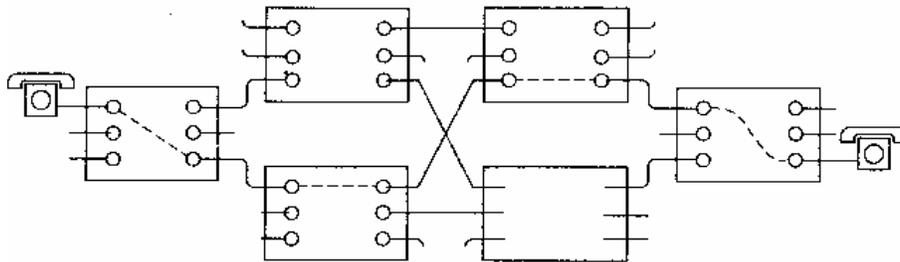
Las centrales telefónicas nos permiten comunicarnos con quien deseamos. Si no existiesen estos sistemas, habría que establecer una línea punto a punto por cada número con el que deseásemos hablar, incluyendo a los bancos, socios comerciales, parientes o amigos, etc. Estas centrales utilizan las líneas de comunicación enviando la información conmutada, es decir, se utiliza una mecánica para que una misma línea pueda servir de canal de comunicación a varios usuarios.

Se utilizan principalmente dos técnicas de conmutación dentro de las redes existentes: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. A continuación se presenta un breve resumen de cada una de ellas.

#### 1.4.1 Conmutación de circuitos

Este tipo de conmutación es aplicada cuando se requiere un enlace para transmisión de voz o datos y el equipo de conmutación del sistema busca una trayectoria física, ya sea de cobre, fibra o radio, que vaya desde su emisor hasta el receptor para establecer un enlace exclusivo mientras se requiera el enlace.

**Figura 5. Conmutación de circuitos**



Fuente: Andrew S. Tanenbaum, *Redes de Computadoras*, Pg. 131

En la figura 5 se muestra una figura esquemática del tipo de conmutación. Cada uno de los seis rectángulos representa un sistema de conmutación por circuito. Cada sistema de conmutación tiene tres líneas entrantes y tres líneas salientes. Cuando surja una necesidad de establecer una comunicación entre las líneas de entrada del sistema de conmutación y las líneas de salida, se establece una conexión física (en forma conceptual) entre las líneas de entrada y las líneas de salida, como es indicado en la figura por medio de las líneas punteadas.

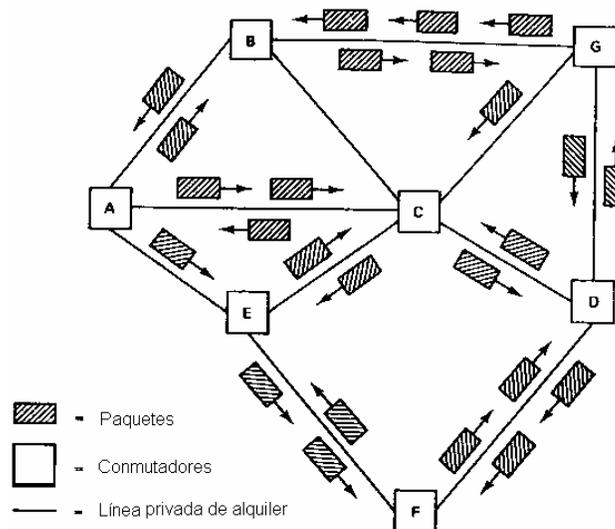
La idea básica es: una vez que se ha establecido una llamada, existe una trayectoria dedicada entre ambos extremos y continuará existiendo hasta que ya no sea necesaria y se corte el enlace.

Al existir una trayectoria de cobre entre las partes en comunicación, una vez completado el establecimiento, el único retardo de los datos es el tiempo de propagación de la señal electromagnética. Otra ventaja de la trayectoria establecida es que no hay peligro de congestión; esto es, una vez que la llamada es contestada y se establece la comunicación, no hay posibilidad de obtener una señal de ocupado, aunque podría obtener una antes de establecerse la conexión debido a la falta de capacidad.

#### **1.4.2 Conmutación de paquetes**

La conmutación de paquetes se conoce con este nombre porque los datos de usuario (mensaje) se descomponen en trozos más pequeños. Estos fragmentos, o paquetes, están insertados dentro de informaciones del protocolo y recorren la red como entidades independientes. La figura 6 nos muestra una red de conmutación de paquetes. Su topología es, evidentemente, distinta de la de conmutación de circuito. Esta estructura permite establecer estructuras de encaminamiento, evitando los nodos ocupados o averiados. Todo ello redundará en una mayor disponibilidad de la red de cara a los usuarios.

**Figura 6. Conmutación de paquetes**



Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 164

### 1.4.3 Conmutación de paquetes frente a circuitos

La conmutación de circuitos y de paquetes difieren en muchos aspectos. La diferencia clave es que la conmutación de circuitos reserva de manera estática por adelantado el ancho de banda requerido, mientras que la conmutación de paquetes lo adquiere y lo libera según se necesita.

Con la conmutación de circuitos, cualquier ancho de banda que no se use en un circuito asignado sencillamente se desperdicia. Con la conmutación de paquetes este ancho de banda se puede utilizar para transmitir otros paquetes de fuentes no relacionadas que van a destinos no relacionados porque los circuitos nunca son dedicados.

Por otro lado, debido a que no hay ciertos circuitos dedicados, una crecida subida en el tráfico de entrada puede saturar un “*router*” o enrutador, excediendo su capacidad de almacenamiento y provocando que pierda paquetes.

En contraste con la conmutación de circuitos, cuando se usa la conmutación de paquetes resulta sencillo para los enrutadores efectuar conversiones de velocidad y de código. También pueden realizar corrección de errores en cierto grado. Sin embargo, en algunas redes de conmutación de paquetes, éstos se pueden entregar a su destino en el orden equivocado, cosa que nunca puede suceder con la conmutación de circuitos.

Otra diferencia es que la conmutación de circuitos es totalmente transparente. El emisor y el receptor pueden usar cualquier velocidad, formato o método de encuadrado de bits que quieran. La portadora no lo sabe ni le interesa. Con la conmutación de paquetes la portadora determina los parámetros básicos.

## **1.5 Red X.25**

### **1.5.1 Introducción**

En 1974 el CCITT emitió el primer borrador de X.25 (el “Libro Gris”). Este original fue revisado en 1976, 1978 y 1980, y de nuevo en 1984, para dar lugar al texto definitivo, el “Libro Rojo”, publicado en 1985. El documento inicial incluía una serie de propuestas sugeridas por DATAPAC (Canadá), Telnet y Tymnet (Estados Unidos): tres nuevas redes de conmutación de paquetes.

Desde aquel 1974, X.25 ha ido ampliándose e incorporando numerosas opciones, servicios y funciones.

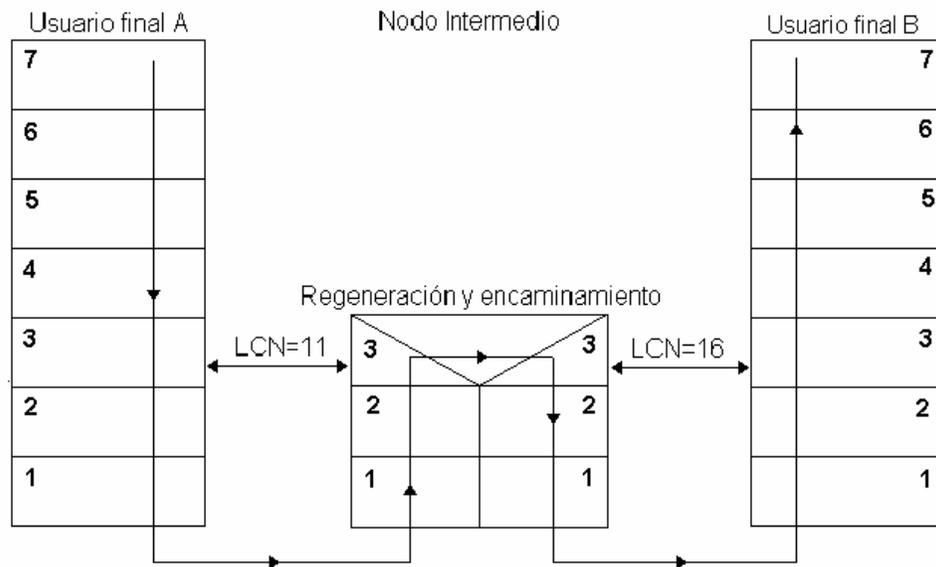
Las redes de paquetes y las estaciones de usuario han de disponer de mecanismos de control que les permitan interconectarse. Quizá el más importante de estos mecanismos, al menos desde el punto de vista de la red, sea el control de flujo, que sirve para limitar la influencia de tráfico procedente de los usuarios, evitando así la congestión de la red. También el DTE como la propia red han de poseer procedimientos de control de errores que garanticen la recepción correcta de todo el tráfico. X.25 proporciona estas funciones de control de flujo y de errores.

Comúnmente se le denomina DTE (*data terminal equipment*), o equipo terminal de datos, a la forma genérica para aludir a la máquina que emplea el usuario final o en donde se emplea la aplicación. Un DTE puede ser cualquier tipo de ordenador.

La misión DCE (*Data communication equipment*), o equipo de comunicación de datos, es conectar los equipos ETD a la línea o canal de comunicaciones. En otras palabras, su misión es servir de interfaz entre el DTE y la red de comunicaciones.

La ausencia de algoritmos de encaminamiento en X.25 es a veces motivo de confusión. La figura 7 muestra la relación existente entre el nivel de red en X.25 y los sistemas de encaminamiento o transmisión.

**Figura 7. Regeneración y encaminamiento en X.25**



El tráfico pasa del usuario final A (DTE A) a un nodo intermedio, que podría ser el nodo de entrada del usuario a la red (en X.25 el DCE). En este nodo, para atender al usuario A se invoca al nivel físico (1), al nivel de enlace (2 LAPB) y al nivel de red (3, X.25). En esta ilustración, el usuario A se identifica de cara a la red mediante el número de canal lógico (LCN) 11.

A continuación, los datos se entregan a un determinado programa, el cual lleva a cabo las funciones de encaminamiento. Los datos regresan a X.25 y a los niveles inferiores y se transmiten desde el nodo intermedio (que podría ser el nodo de red DCE correspondiente al usuario B) hacia el usuario final B (DTE B). En X.25 se maneja una abundante terminología telefónica (canales, circuitos, llamadas, etc.).

## **1.5.2 Características de X.25**

X.25 trabaja sobre servicios basados en circuitos virtuales. Un circuito virtual (“canal lógico”, en la jerga de X.25) es aquél en el cual el usuario percibe la existencia de un circuito físico dedicado exclusivamente a la computadora que él maneja, cuando en realidad ese circuito físico “dedicado” lo comparten muchos usuarios. Mediante diversas técnicas de multiplexado estadístico, se entrelazan paquetes de distintos usuarios dentro de un mismo canal. En teoría, las presentaciones del canal son lo bastante buenas como para que el usuario no advierta ninguna degradación en la calidad del servicio como consecuencia del tráfico que le acompaña en el mismo canal. Para identificar las conexiones en la red de los distintos ETD, se emplea el número de canal lógico (LCN).

## **1.5.3 Niveles de X.25**

### **1.5.3.1 Nivel físico de X.25**

Como ilustra la figura 7, la recomendación X.25 para el nivel de paquetes coincide con una de las recomendaciones del tercer nivel ISO. En realidad, X.25 abarca el tercer nivel y también los dos niveles más bajos. El interfaz de nivel físico recomendado entre el DTE y el ETCD es el X.21.

X.25 asume que el nivel físico X.21 mantiene activados los circuitos T (transmisión) y R (recepción) durante el intercambio de paquetes. Asume, también, que el X.21 se encuentra en estado de envío de datos, recibo de datos y transferencia de datos. Supone también que los canales de control, indicación de X.21 están activados.

X.25 utiliza el interfaz X.21 que une el ETD y el DCE como un “conductor de paquetes”, en el cual los paquetes fluyen por las líneas (pin) de transmisión (T) y de recepción (R). Teniendo en cuenta que en muchos países el interfaz X.21 no está muy extendido, X.25 tiene provista la utilización del interfaz físico X.21bis/RS-232-C. El sufijo bis indica que se trata de una segunda opción del estándar recomendado, aunque de hecho X.21bis y X.21 no se parecen mucho.

El nivel físico de X.25 no desempeña funciones de control significativas. Se trata más bien de un conducto pasivo, de cuyo control se encargan los niveles de enlace y de red.

Los principales circuitos que exige X.25 en RS-232-C son:

- Datos enviados
- Datos recibidos
- Solicitud de transmisión
- Permiso para transmitir
- Equipo de datos preparado
- Terminal de datos preparado
- Detección de portadora

### **1.5.3.2 Nivel de enlace de X.25**

En X.25 se supone que el nivel de enlace es LAPB. Este protocolo de línea es un subconjunto de HDLC (*Hi-Level Data Link Control*).

**El LAPB y X.25 interactúan de la siguiente forma:** en la trama LAPB, el paquete X.25 se transporta dentro del campo (información). Es LAPB el que se encarga de que lleguen correctamente los paquetes X.25 que se transmiten a través de un canal susceptible a errores, desde o hacia la interfaz ETD/ETCD.

Para distinguir entre paquetes y tramas, digamos que los paquetes se crean en el nivel de red y se insertan dentro de una trama, la cual se crea en el nivel de enlace.

### **1.5.3.3 Opciones del canal X.25**

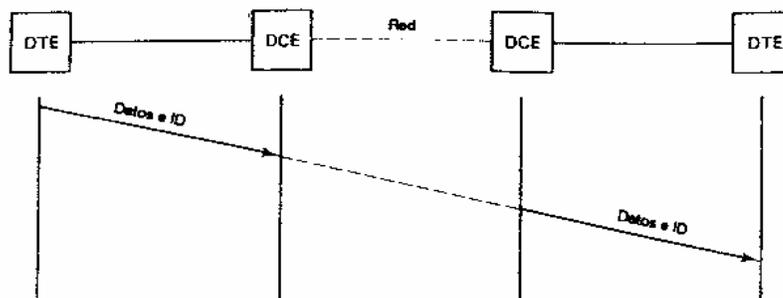
A continuación presentaremos algún detalle adicional acerca de X.25, examinando las distintas opciones de establecimientos de sesiones entre ETD dotados de las capacidades de X.25. El estándar ofrece cuatro mecanismos para establecer y mantener las comunicaciones:

- Circuito virtual permanente (PVC por sus siglas en inglés *Permanent Virtual Circuit*)
- Llamada virtual (VC por sus siglas en inglés, *Virtual Call*)
- Elección rápida.
  - Llamada de selección rápida
  - Llamada de selección rápida con liberación inmediata.

**Circuito virtual permanente.** Un circuito virtual permanente es algo parecido a una línea alquilada en una red telefónica. El DTE que transmite tiene asegurada la conexión con el ETD que recibe a través de la red de paquetes, ver figura 8.

En X.25, antes de empezar la sesión es preciso que se haya establecido un circuito virtual permanente. Por tanto, antes de reservarse un circuito virtual permanente, ambos usuarios han de llegar a un acuerdo con la compañía explotadora de la red. Una vez hecho esto, cada vez que un ETD emisor envíe un paquete a la red, la información de identificación de este paquete (el número de canal lógico) indicará a la red que el ETD solicitante posee un canal virtual permanente con el ETD receptor. En consecuencia, la red establecerá una conexión con el ETD receptor sin ningún otro arbitraje o negociación de la sesión. El PVC no necesita procedimientos de establecimiento ni de liberación. El canal lógico, además, está siempre en modo de transferencia de información.

**Figura 8. Circuito virtual permanente (PVC) X.25**



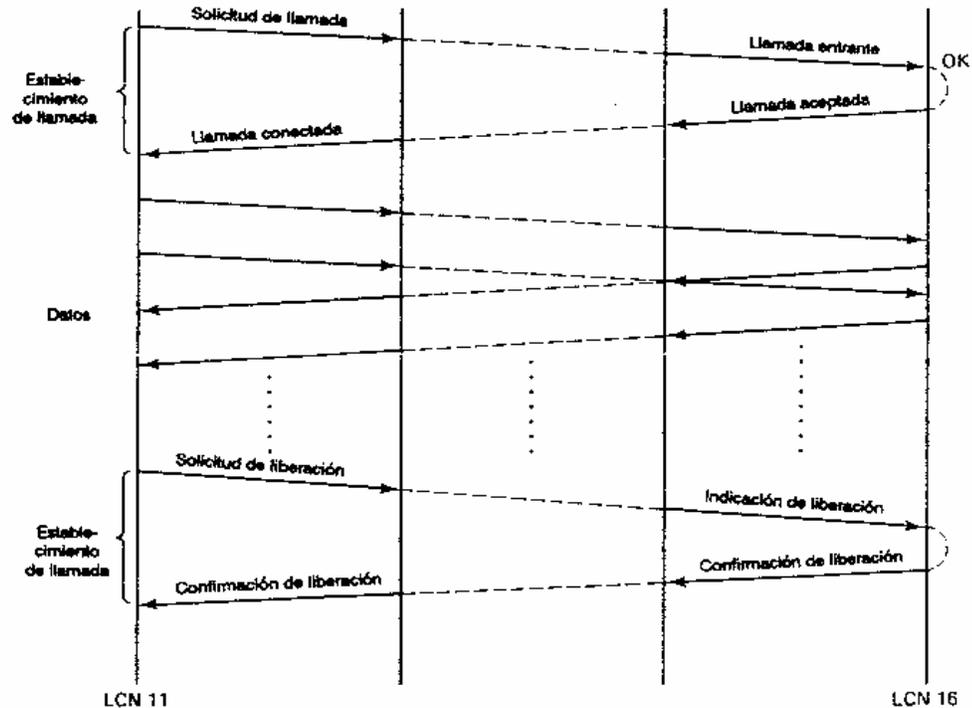
Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 188

**Llamada virtual.** Una llamada virtual (también conocida como llamada conmutada virtual ) recuerda en cierto modo a algunos de los procedimientos asociados con las líneas telefónicas habituales. El proceso aparece en la figura 9. El ETD de origen entrega a la red un paquete de “solicitud de llamada” con un 11 como número de canal lógico (LCN). La red dirige ese paquete de solicitud de llamada al ETD de destino, el cual lo recibe como paquete de llamada entrante procedente de su nodo de red, esta vez con un LNC de valor 16. La numeración del canal lógico se lleva a cabo en cada extremo de la red; lo más importante es que la sesión entre los dos ETD esté identificada en todo momento con los número LNC 11 y 16.

Los números de canal lógico sirven para identificar de forma unívoca las diversas sesiones de usuario que coexisten en el circuito físico en ambos extremos de la red.

En el interior de la red, los nodos de conmutación de paquetes pueden mantener también su propia numeración LCN. Si el DTE receptor decide aceptar y contestar la llamada, entregará a la red un paquete de “llamada aceptada”. La red transportará este paquete al ETD que llama en forma de paquete de “llamada conectada”. Después el canal entrará en estado de transferencia de datos. Par concluir la sesión, cualquiera de los dos ETD puede enviar una señal de solicitud de liberación. Esta indicación es recibida y se confirma mediante un paquete de confirmación de liberación.

Figura 9. Llamada virtual (VC) X.25



Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 188

Las redes orientadas a conexión exigen que se haya establecido un enlace antes de empezar a intercambiar datos. Una vez que el ETD receptor ha aceptado la solicitud de llamada, comienza el intercambio de datos según el estándar X.25.

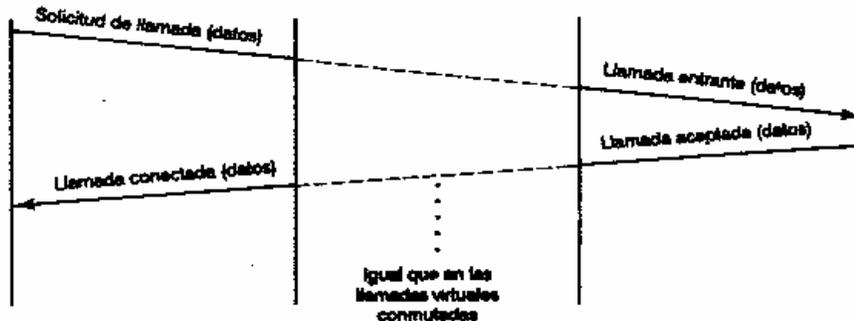
**Selección rápida.** La filosofía básica es eliminar la sobrecarga que suponen los paquetes de establecimiento y liberación de sesión. Tiene su utilidad en determinadas aplicaciones, por ejemplo, en aquellas en las que las sesiones son muy cortas o las transacciones muy breves. Por eso se ha incorporado al estándar una posibilidad de selección rápida.

La selección rápida ofrece dos alternativas. La primera de ellas, la llamada con selección rápida; y la segunda, la llamada con selección rápida con liberación inmediata.

**La llamada con selección rápida.** En cada llamada, un DTE puede solicitar esto al nodo de la red (DCE) mediante una indicación al efecto en la cabecera del paquete. La facilidad de llamada rápida admite paquetes de solicitud de llamada de hasta 128 octetos de usuario.

Este tipo de llamada se ilustra en la figura 10.

**Figura 10 Llamada de selección rápida en X.25**

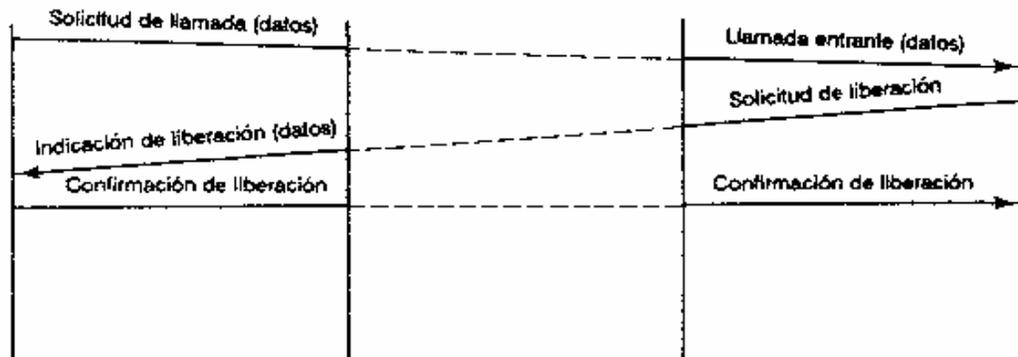


Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág. 189

El DTE llamado puede, si lo desea, contestar con un paquete de "llamada aceptada", que a su vez puede incluir datos de usuario. El paquete de solicitud de llamada/llamada entrante indica si el ETD remoto ha de contestar con un paquete de "solicitud de liberación" o con un "llamada aceptada". Si lo que se transmite es una aceptación de la llamada, la sesión X.25 sigue en curso con los procedimientos de transferencia de datos y de liberación del enlace habituales en las llamadas virtuales conmutadas.

**La selección rápida con liberación inmediata.** Esta es la opción que ilustra la figura 11. Al igual que en la otra opción de selección rápida, una solicitud de llamada en esta modalidad puede incluir también dato de usuario.

**Figura 11 Llamada rápida con liberación inmediata**



fuente: Uyless Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 189

Este paquete se transmite, a través de la red, al ETD receptor, el cual, una vez aceptados los datos, envía un paquete de liberación de la llamada (que a su vez incluye datos de usuario). Este paquete es recibido por el nodo de origen, el cual lo interpreta como una señal de liberación del enlace, ante la cual devuelve una confirmación de la desconexión, que no puede incluir datos de usuario. En resumen, el paquete enviado establece la conexión a través de la red, mientras que el paquete de retorno libera el enlace.

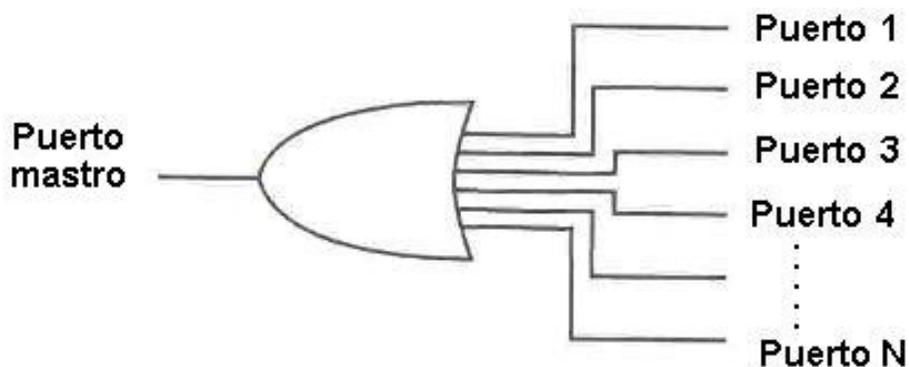
## 1.5.4 Elementos de red X.25

### 1.5.4.1 Difusor

Un difusor permite la multiplexación de N puertos seriales a un solo puerto maestro, para que todos los puertos seriales en estándar RS-232 puedan interactuar con el puerto maestro sin recibir la presencia de otros puertos. Existen dispositivos pasivos y activos. Los difusores pasivos son los que no necesitan alimentación externa, utilizan la alimentación de los propios transmisidos; y los difusores activos son los que necesitan alimentación externa para regenerar la señal.

El diagrama lógico de un difusor es el presentado en la figura 12; las señales y datos de los puertos de entradas son independientes de los demás puertos de entrada, sólo pueden interactuar con el puerto maestro simulando una red conmutada de circuitos.

**Figura 12 Diagrama lógico del difusor**



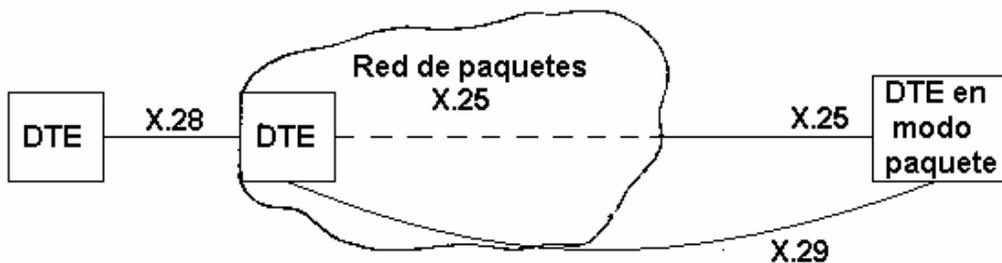
### 1.5.4.2 PAD

Durante el desarrollo de la recomendación X.25, en los años setenta, los organismos de normalización advirtieron que la mayoría de los terminales en funcionamiento eran dispositivos asíncronos no inteligentes. Evidentemente, se hacía necesario un interfaz que conectase a estos equipos con las redes de paquetes. Con el fin de hacer frente a esta exigencia, se desarrollaron estándares para dotar a los terminales asíncronos de capacidades de conversión de protocolo y de ensamblado/desensamblado de paquetes (PAD – *Packet Assembly/Disassembly*).

Tras el primer borrador de la norma X.25, aparecido en 1976, los comités de normalización editaron en 1977 una nueva recomendación en la que aparecían tres especificaciones relativas a los interfaces para terminales asíncronos: X.3, X.28 y X.29. Estas recomendaciones se verían reforzadas más adelante con la revisión de 1984.

La idea del PAD es ofrecer una conversión de protocolos entre un dispositivo de usuario y una red pública o privada, junto con otra conversión complementaria en el extremo receptor de la red. Se trata de conseguir un servicio transparente para los usuarios. La norma X.3 y sus normas accesorias X.28 y X.29 sólo están pensadas para dispositivos asíncronos, pero muchos fabricantes ofrecen otros servicios tipo PAD capaces de aceptar protocolos BSC o SDLC. Estas opciones asíncronas del esquema PAD no entran dentro de la filosofía de X.3, X.28 y X.29.

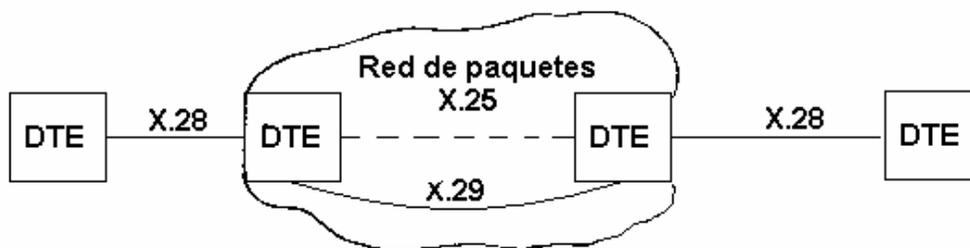
**Figura 13 Comunicación de DTE de usuario con un DTE en modo paquete**



Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 206.

Los estándares PAD permiten diversas configuraciones. En la figura 13 puede verse la conexión entre un ETD de usuario no generador de paquetes y otro ETD capaz de operar en un modo de paquete. Obsérvese que el PAD (X.3) y el X.28 sólo son necesarios en los ETD asíncronos. La figura 14 nos muestra otro ejemplo típico en el que dos ETD asíncronos desean entablar una comunicación. Ambos emplean X.3 y X.28.

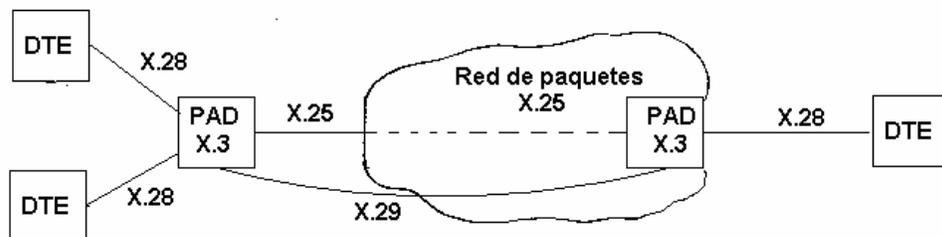
**Figura 14 Comunicación entre DTE y DTE**



Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 206.

En el último ejemplo, figura 15, vemos un PAD situado fuera de la red, quizá en la misma oficina del usuario. En este caso, la red ve el PAD como un verdadero dispositivo X.25. Conviene tener presente también que la norma X.29 sirve para establecer comunicación entre un PAD y un ETD X.25, o entre dos PAD.

**Figura 15 PAD extremo a la red**



Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 206.

**X.3** La versión X.3 de 1984 proporciona una serie de 22 parámetros que son utilizados por el PAD para identificar y atender a cada una de las terminales con las que se comunica. Cuando se establece una conexión con el PAD desde un ETD, los parámetros del PAD sirven para determinar cómo se comunica el PAD con el DTE de usuario. El usuario puede también alterar estos parámetros una vez iniciada su sesión con el PAD.

**X.28** En este estándar se definen los procedimientos de control de flujo entre el terminal de usuario (que no trabaja en modo paquete) y el PAD. Una vez recibida una conexión inicial desde el ETD de usuario, el PAD establece el enlace y proporciona los servicios propios de la norma X.28. El ETD de usuario entrega al PAD diversos comandos X.28, y el PAD solicita de X.25 una llamada virtual con el ETD remoto. A partir de entonces, el PAD será responsable de transmitir los paquetes adecuados de solicitud de llamada X.25.

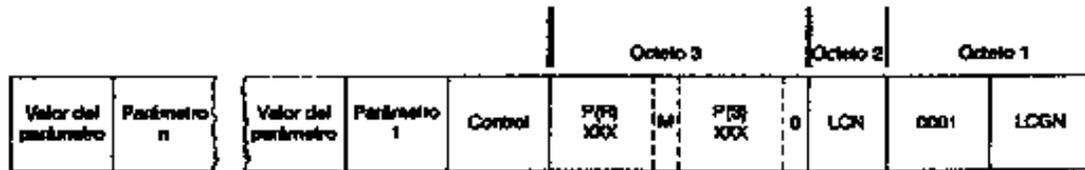
En X.28, cuando un PAD recibe un comando procedente de un terminal, está obligado a devolver una respuesta. Además, pueden definirse dos perfiles para atender al ETD de usuario. Con el perfil “transparente”, el PAD que atiende el servicio es transparente para ambos ETD. Los dos ETD “piensan” que existen una conexión virtual directa entre ellos. En esta situación, el ETD remoto debe encargarse de algunas funciones PAD, como es la comprobación de errores. El perfil “simple”, por el contrario, atiende las solicitudes del usuario mediante las opciones que proporciona la norma X.3 y las funciones de parámetros.

**X.29** Este estándar indica al PAD y a la estación remota cómo deben intercambiar informaciones de control dentro de una llamada X.25. En el contexto X.29, al hablar de estación remota nos estamos refiriendo a un PAD o a un ETD X.25. X.29 permite que el intercambio de información tenga lugar en cualquier momento, ya sea en la fase de transferencia de datos o en cualquier otra etapa de la llamada virtual.

#### **1.5.5 Formato del paquete**

El paquete PAD tiene un formato similar al del paquete X.25 convencional (ver figura 16). Necesita una cabecera de tres octetos, seguida de un campo de control de un octeto, y por último los números y valores correspondientes al PAD.

**Figura 16 Paquetes X.25/PAD**



Fuente: Uyles Black, Computers Networks, Protocols, Standards, and Interfaces. Pág 212.

## 1.6 Redes TCP/IP

Dentro de los protocolos ruteables, el más interesante y el que mayor auge ha cobrado es el protocolo TCP/IP (*Transmission Control Protocol e Internet Protocol*).

Estos protocolos pueden ser usados para comunicación a través de cualquier grupo de redes interconectadas.

### 1.6.1 El protocolo TCP/IP

El protocolo TCP/IP es quizás el protocolo de comunicaciones más importante de los últimos años. Es el protocolo principalmente empleado en las redes telemáticas por su versatilidad y soporte. Sin embargo, existen varias razones que le han permitido llegar a ocupar el espacio que hoy ocupa en las redes de transmisión de datos.

- TCP/IP es ideal para unir hardware y software distintos

- TCP/IP puede integrar muchas clases distintas de redes, puede correr sobre redes Ethernet, token ring, redes X.25, líneas discadas en redes de conmutación de circuitos; prácticamente sobre cualquier red y sobre cualquier medio de transmisión.
- Posee un esquema común de direccionamiento que permite a cualquier dispositivo o elemento de red comunicarse con otro dispositivo de la red sin equivocación aun cuando esta red fuera enorme.

### **1.6.2 Arquitectura del protocolo TCP/IP**

No hay un acuerdo universal acerca de cómo describir la arquitectura del protocolo TCP/IP con un modelo de capas similar al modelo OSI.

La mayoría de las descripciones de TCP/IP definen de tres a cinco capas funcionales en la arquitectura del protocolo. Cada capa tiene sus propias e independientes estructuras de datos. Conceptualmente una capa no se percata de la estructura de datos empleada en las capas superiores e inferiores a ella.

Las capas más descriptivas son:

- Capa de acceso a la red
- Capa de internet
- Capa de transporte
- Capa de aplicación

### **1.6.2.1 Capa de acceso a la red**

La capa de acceso a la red es la más baja de la jerarquía del protocolo TCP/IP. Aquí se proveen los medios para que el sistema envíe los datos a los otros elementos de red. Esta capa define cómo se emplea la red para transmitir y encapsular datagramas IP así como mapeo de las direcciones IP a las direcciones físicas usadas por la red; los datagramas son el formato definido por el protocolo internet; son paquetes o bloques de datos que llevan información necesaria para ser enviados como si fueran una carta postal, con una dirección asociada.

A diferencia de las capas de más alto nivel, la capa de acceso a la red debe conocer con detalle la red física que soporta la transmisión de los paquetes para formatear correctamente los datos que están siendo transmitidos y consentir con las limitaciones de la red. Esta capa puede contener las funciones de las tres capas más bajas del modelo OSI: capa física, capa de enlace, capa de red).

Una de las fortalezas de TCP/IP es su esquema de direccionamiento; ya que únicamente identifica cada elemento o servidor en la red.

### **1.6.2.2 Capa de internet**

La capa inmediata superior a la capa de acceso a la red, es la capa de internet. El protocolo internet, RFC 791, es el corazón de TCP/IP y es a la vez el protocolo más importante en la capa de internet.

IP o *Internet Protocol* provee el servicio básico de envío de paquetes sobre el cual se construyen las redes TCP/IP. Todos los protocolos en las capas arriba y debajo de IP, usan el protocolo de internet para enviar datos, es decir, todos los datos fluyen a través de IP sin importar su destino final.

El protocolo IP es además un protocolo sin conexión, es decir, no intercambia señales de control para establecer una conexión de extremo a extremo antes de empezar la transmisión de datos. En contraste con otros protocolos que si envían señales de control, el protocolo IP confía en protocolos de las otras capas para establecer la conexión, así también para el control, detección y corrección de errores, de tal forma que el protocolo IP se limita únicamente al envío de datos.

### **1.6.2.3 Capa de transporte**

La capa de protocolo justamente arriba de la capa internet es la capa de transporte servidor a servidor. Este nombre es usualmente acortado a capa de transporte. Los dos protocolos más importantes en la capa de transporte son el protocolo de control de transmisión (TCP) y el protocolo de usuarios de datagramas (UDP).

TCP provee un servicio de envío de datos confiable con detección y corrección de errores de extremo a extremo, orientado a conexión.

UDP provee un servicio de envío de datagramas sin conexión, de poca complicación.

Ambos protocolos envían datos entre la capa de aplicación y la capa de internet.

#### **1.6.2.4 Capa de aplicación**

Esta capa incluye todos los procesos que usan los protocolos de la capa de transporte para enviar datos. Hay varios protocolos de aplicación. La mayoría provee servicios de usuarios y todos los nuevos servicios siempre se añaden a esta capa. Los protocolos de aplicación más conocidos son:

**TELNET:** protocolo terminal de red, provee autenticación de usuario remoto por la red.

**FTP:** protocolo de transferencia de archivos, se emplean para transferencia de archivos.

**SMTP:** protocolo de transferencia simple de correo, protocolo que envía el correo electrónico.

**DNS:** servicio de dominio de nombres, mapea direcciones IP a los nombres asignados a los dispositivos de RED.

**RIP:** protocolo de información de enrutamiento, es usado por los dispositivos de red para intercambiar información de rutas o enrutamiento.

**NFS:** sistema de archivos de red, permite que los archivos sean compartidos por varios servidores en la red.

### **1.6.3 Elementos de red**

#### **1.6.3.1 Hub**

Un *HUB*, tal como dice su nombre, es un concentrador. Simplemente une conexiones y no altera las tramas que le llegan. Los HUB están situados en la capa 1 del modelo OSI, es decir, la capa física, ya que actúa como un simple repetidor en el que todos los dispositivos de la red reciben la misma información al mismo tiempo.

#### **1.6.3.2 Switch**

Un *switch* es un dispositivo de propósito especial, es mucho más inteligente que un *HUB*. Se diseñó para resolver problemas de rendimiento de red, debido a anchos de banda pequeños y colisiones en redes de medio compartido. Pueden agregar mayor ancho de banda, acelerar la salida de paquetes y reducir el tiempo de espera.

El *switch* segmenta de manera económica una red dentro de pequeños dominios de colisiones, obteniendo un alto porcentaje de ancho de banda para cada estación final o *host*. No están diseñados con el propósito principal de un control óptimo sobre la red o como la fuente última de seguridad.

El *switch*, al segmentar un dominio de colisiones de una red de área local LAN en pequeños dominios de colisión, reduce o casi elimina la competencia entre estaciones por el medio, dando a cada una de las estaciones un ancho de banda mayor y resolviendo un problema de ancho de banda.

Un *switch* opera en la capa 2 del modelo OSI (capa de enlace). Esta capa es una de las tres sobre las que se basa la capa de acceso a red, primera capa en la arquitectura del protocolo IP.

Existen *switch* de nivel 3 (capa de red); se diferencian de los *routers* (que a continuación se describirán) en que su hardware es más específico y diseñado especialmente para llevar a cabo su función.

### **1.6.3.3 Router**

Un *router* o ruteador es un dispositivo de propósito general diseñado para segmentar la red con la idea de limitar tráfico de difusión o *broadcast* y proporcionar seguridad, control y redundancia entre redes.

También puede dar un acceso económico a una WAN y proporcionar un servicio de *firewall* o pared de fuego para evitar el acceso de usuarios no autorizados.

El ruteador opera en la capa 3 del modelo OSI (capa de red) y tiene más facilidades de software que un *switch*. Al funcionar en una capa mayor que la del *switch*, el ruteador distingue entre los diferentes protocolos de red. Esto le permite hacer una decisión más inteligente que al *switch* al momento de reenviar los paquetes.

El ruteador es responsable de crear y mantener tablas de ruteo para cada capa de protocolo de red. Estas tablas son creadas estática o dinámicamente. De esta manera, el ruteador extrae de la capa de red la dirección destino y realiza una decisión de envío con base en el contenido de la especificación del protocolo en la tabla de ruteo.

Dado que un ruteador es un dispositivo inteligente, puede seleccionar la mejor ruta para el envío de los paquetes, basándose en diversos factores, más que por la dirección MAC destino o red LAN destino. Estos factores pueden incluir la cuenta de saltos, velocidad de la línea, costo de transmisión, retraso y condiciones de tráfico. La desventaja es que el proceso adicional de procesamiento de tramas o *frames* por un ruteador puede incrementar el tiempo de espera o reducir el desempeño del ruteador cuando se compara con una simple arquitectura de *switch*.

## **2 REDES ELÉCTRICAS**

El análisis del proyecto de telemedida que presenta este trabajo fue realizado con el objetivo de teledir los puntos de la red eléctrica en donde se efectúa la venta y compra de energía.

Aunque los alcances de este trabajo final son principalmente en el área de las telecomunicaciones, este capítulo se detendrá a examinar la necesidad que se quiere cubrir con la telemedida. Se examinará uno de los mayores y más importantes escenarios para la telemedida en nuestros días, la aplicación en la red de distribución eléctrica de Guatemala.

Primero se presenta una introducción de los elementos que influyen directa o indirectamente en la negociación de energía eléctrica, para luego profundizar el área de la negociación en el subsector eléctrico actual de Guatemala.

### **2.1 Energía eléctrica**

#### **2.1.1 Energía**

La energía es la capacidad de un sistema físico para realizar trabajo. La energía se manifiesta en varias formas, entre ellas la energía mecánica, térmica, química, radiante o atómica y eléctrica.

Todas las formas de energía pueden convertirse en otras formas mediante los procesos adecuados. En el proceso de transformación puede perderse o ganarse una forma de energía, pero la suma total permanece constante. Todas las formas de energía tienden a transformarse en calor, que es la forma más degradada de la energía.

A través del tiempo y de los avanzados estudios científicos, se ha llegado a la conclusión de que aunque la energía puede transformarse no se puede crear ni destruir. Este concepto, conocido como principio de conservación de la energía, constituye uno de los principios básicos de la mecánica clásica.

### **2.1.2 Electricidad**

Es un fenómeno físico originado por la existencia de cargas eléctricas y por su interacción. Antiguamente se la consideró como un fluido, pero la última hipótesis científica trata de explicarla como manifestación de una forma de la energía debida a la separación o movimiento de los electrones que forman los átomos.

La energía eléctrica pura, como energía cinética que contiene el flujo de electrones, no tiene mayor aplicación dentro de la gran mayoría de consumidores. Ésta se tiene que transformar en otro tipo de energía para ser útil. Por ejemplo, se puede convertir en luz visible que se puede obtener con las lámparas incandescentes, calor que se puede extraer de estufas eléctricas, tostadoras de pan y secadoras, mecánica para mover motores de secadoras de pelo, lavadoras, licuadoras, etc.

Se puede hacer una analogía con la gasolina, que tampoco tiene tanta aplicación como fluido. Aunque tiene una alta energía potencial, hay que transformarla en otra forma de energía para que pueda ser más útil a la humanidad. Se podría transformar en energía cinética utilizando motores de combustión para obtener movimiento en los vehículos, o para hacer mover el eje de un alternador y obtener energía eléctrica por medio de inducción electromagnética.

## **2.2 Generación, transporte y distribución de electricidad**

Si se ve el sistema eléctrico como la generación, transporte y distribución de electricidad, podemos decir que es el conjunto de instalaciones que se utilizan para transformar otros tipos de energía en electricidad y transportarla hasta los lugares donde se consume. Estas instalaciones suelen utilizar corriente alterna, ya que es fácil reducir o elevar el voltaje con transformadores. De esta manera, cada parte del sistema puede funcionar con el voltaje apropiado.

En las redes eléctricas se pueden distinguir seis elementos principales:

1. La central eléctrica o generadora
2. Los transformadores de transmisión (elevación de tensión)
3. Las líneas de transporte
4. Las subestaciones
5. Las líneas de distribución

## 6. Los transformadores de distribución (transformaciones a magnitudes bajas de tensión)

En una red eléctrica normal, los generadores de la central eléctrica suministran voltajes de 26.000 voltios; voltajes superiores no son adecuados por las dificultades que presenta su aislamiento. Este voltaje se eleva mediante transformadores de transporte a tensiones entre 69.000 y 230.000 voltios para la línea de transporte primaria, pues cuanto más alta es la tensión en la línea menor es la corriente y menores son las pérdidas, ya que éstas son proporcionales al cuadrado de la intensidad de corriente. En la subestación, el voltaje se transforma en tensiones entre 13.000 y 34.000 voltios para que sea posible transferir la electricidad al sistema de distribución. La tensión se baja de nuevo con transformadores de distribución relativamente pequeños en cada punto de distribución, y así se entrega a los usuarios finales de bajo consumo.

### **2.2.1 Historia**

En cualquier proyección que se haya hecho en la historia, seguramente se utilizaron como base para los cálculos, muestras del pasado y del presente. De esta manera, si se quiere comprender el estado actual y calcular el destino de las negociaciones de energía eléctrica de Guatemala, se debe conocer su recorrido y situarla en un punto actual para poder anticipar su camino.

A continuación se presenta un breve recorrido del subsector eléctrico de Guatemala mencionando los acontecimientos más importantes durante los últimos años.

- a) Se convierte en política de Estado el ampliar la participación privada en el sector energía y no realizar inversiones públicas, salvo por medio de la financiación de subsidios para la inversión en electrificación rural.
- b) Se abre la participación privada a la comercialización y distribución.
- c) Mayores niveles de competencia en el mercado.
- d) Se inicia la elaboración y puesta en vigencia de los reglamentos necesarios para hacer operativa la ley.
- e) Se crean y entran en operación las nuevas instituciones sectoriales: Comisión Nacional de Energía Eléctrica como ente regulador (mayo 1997) y el Administrador del Mercado Mayorista (1998).
- f) A partir de mayo 1998, se inicia la aplicación de tarifas de energía eléctrica con estructura técnica para los usuarios regulados de las empresas distribuidoras. Se inicia la aplicación de la tasa de cambio del quetzal respecto al US\$ en la determinación de las tarifas.
- g) Las tarifas son variables de acuerdo con reglas que introducen certeza; se ajustan en términos reales y esencialmente por efecto del deslizamiento del tipo de cambio y el incremento del precio del petróleo.
- h) Se venden activos del sector público eléctrico:
  - a. “Stewart Stevenson” y “La Laguna” con PPA’s.
  - b. Acciones de EEGSA.
  - c. Empresas de distribución del INDE.
- i) Nuevos proyectos de generación privada con PPA entran en operación.
- j) Por primera vez en Guatemala se dan inversiones en “generación mercante” privadas.
- k) El mercado empezó a mostrar resultados de eficiencia económica; la institucionalidad se consolidó y se aplicó la legislación del nuevo marco legal. El sector público ha salido del negocio de la distribución de energía eléctrica y juega un papel subsidiario.

- l) Inversiones crecen hasta el punto de representar más del 50% del mercado de generación y más del 90% del mercado de distribución.
- m) Se crea la tarifa social el 2 de enero de 2001, por medio del Decreto número 96-2000, que contiene la Ley de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica, con la finalidad de favorecer al usuario regulado cuyo consumo no supere los 300 KWH, considerando que este segmento es el más afectado por el incremento de costos en la producción de energía eléctrica.

Las características esperadas para el futuro se puede resumir en: consolidación y desarrollo.

### **2.2.2 Subsector eléctrico actual**

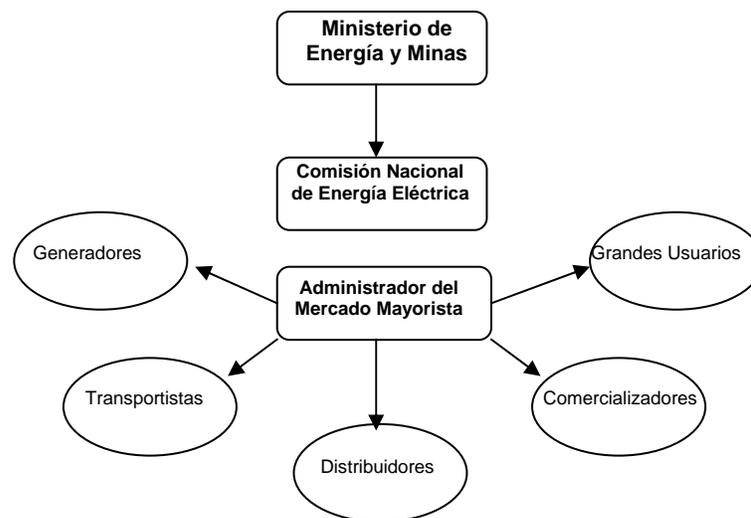
Inicialmente existían en la república de Guatemala una empresa estatal de electricidad, Instituto Nacional de Electricidad (INDE), junto a otras empresas generadoras y distribuidoras privadas. Esta empresa se segregó en otras tres, EGEE (generación), ETCEE (transporte) y EDEE (distribución). EDEE fue la empresa que se privatizó formando las empresas DEOCSA (Distribución de Occidente S.A) y DEORSA (Distribución de Oriente S.A.).

Actualmente, parte de la generación y el transporte pertenecen al Estado. No obstante, la división por actividad no es algo completamente rígida, ya que las empresas de distribución poseen una parte de generación.

Además de las empresas distribuidoras DEOCSA y DEORSA, existe otra empresa como EEGSA, participada por Iberdrola, que distribuye en la capital de Guatemala y una pequeña zona al sur de ésta.

A partir de 1996, y con la promulgación de la Ley General de Electricidad, el subsector eléctrico se puede esquematizar de la siguiente manera:

**Figura 17 Sub-sector eléctrico de Guatemala**



### 2.2.3 Ministerio de Energía y Minas

Los objetivos de éste son:

- Elaborar y proponer los planes para la investigación, desarrollo y ejecución de programas y proyectos relacionados con la electrificación rural.
- Velar porque el proceso de autorizaciones de instalación de central y prestación del servicio de transporte y el servicio de distribución final de electricidad y constitución de servidumbres, se realice conforme a la Ley General de Electricidad.

- Coordinar la identificación, la selección, los concursos para la evaluación socioeconómica, los estudios de ingeniería y construcción de proyectos de electrificación rural, de beneficio social o utilidad pública, así como la supervisión de los mismos de acuerdo a las políticas del Estado.

#### **2.2.4 Comisión Nacional de Energía Eléctrica**

*“La Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE fue creada como órgano técnico del Ministerio de Energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus atribuciones, por la Ley General de Electricidad contenida”* según decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, publicada en el Diario Oficial el 21 de noviembre de 1996.

La Ley General de Electricidad establece para la Comisión Nacional de Energía Eléctrica las siguientes funciones:

- a) Cumplir y hacer cumplir la Ley y sus reglamentos, en materia de su competencia, e imponer sanciones a los infractores.
- b) Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias.
- c) Definir las tarifas de transmisión y distribución sujetas a regulación.

- d) Resolver las controversias que surjan entre los agentes del subsector eléctrico, actuando como árbitro entre las partes cuando éstas no hayan llegado a ningún acuerdo.
- e) Emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas.
- f) Emitir las disposiciones y normativas para garantizar el libre acceso y uso de las líneas de transmisión y redes de distribución de acuerdo con lo dispuesto en la Ley y su reglamento.

### **2.2.5 Administración del Mercado Mayorista**

El Administrador del Mercado Mayorista (AMM) es una entidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre los participantes del Mercado Mayorista de Electricidad. Asegura las condiciones de competencia, en un ámbito de libre mercado, con reglas claras, promoviendo así la inversión en el sistema eléctrico.

Los objetivos del Administrador del Mercado Mayorista son:

- a) Maximizar la seguridad del Sistema Nacional Interconectado, garantizar el suministro y minimizar los costos mayoristas en el mercado horario de la energía.
- b) Prever y programar eficientemente el funcionamiento del mercado mayorista y del sistema nacional interconectado.

- c) Realizar la valorización de las transacciones, pagos y cobros a los agentes de manera transparente.
- d) Operar el Sistema Nacional Interconectado y administrar el mercado mayorista con objetividad y máxima transparencia dentro de las reglamentaciones del mercado mayorista.
- e) Velar por la obtención de la máxima eficiencia en el uso de los recursos.

Los productos y servicios que se compran y venden en el mercado mayorista son:

- a) Potencia eléctrica
- b) Energía eléctrica
- c) Servicios de transporte de energía eléctrica
- d) Servicios complementarios

Los clientes o participantes en el mercado mayorista de electricidad, pueden clasificarse de la siguiente manera: generadores que tengan una potencia máxima de por lo menos 10 MW; los distribuidores que tengan un mínimo de 20,000 usuarios; los transportistas que tengan una potencia firme conectada mínima de 10 MW; los comercializadores, incluyendo importadores y exportadores, que compren o vendan bloques de energía asociados a una potencia firme de por lo menos 10 MW; y los grandes usuarios que tengan una demanda de potencia, entendida como demanda máxima, que exceda 100 kW.

### **2.3 Comercialización de energía eléctrica**

Existen fronteras en donde se definen los puntos de compra y venta de energía eléctrica entre los clientes o participantes del Administrador del Mercado Mayorista. Estas frontera se denomina: punto frontera.

En los puntos frontera, la medición de energía eléctrica se efectúa mediante medidores o contadores. Resulta de interés para calcular la cantidad de energía que la compañía suministradora debe facturar a los consumidores. También se utiliza para conocer la cantidad de energía a través de las redes de distribución que no son traducidas precisamente en trabajo útil o electromecánico por falta de compensación de cargas reactivas.

Años atrás, la comercialización de la energía eléctrica se efectuaba de manera muy simple porque se facturaba en función de la unidad de energía vigente (Ah, Wh, KWh). Sin embargo, con el permanente desarrollo industrial y la consecuente búsqueda del abaratamiento de la producción por parte de las fábricas, se hizo necesaria la aplicación de tarifas más complejas. Es importante comprender que la economía de la producción de la energía eléctrica depende de su modo de utilización.

Dichos factores dieron origen a la creación de una gran variedad de medidores de energía, los cuales realizan un proceso de tarifado que obliga al consumidor a ajustar sus instalaciones y su equipamiento, de tal manera que la compañía productora trabaje con el mayor rendimiento de sus instalaciones de distribución. De esa manera, la energía eléctrica puede ser ofrecida a menores costos. En los consumos bajos de residenciales no aplica esta tarifa compleja, se sigue con la tarifa de consumo energético de las unidades de energía vigentes (Ah, Wh, KWh).

### **2.3.1 Medición eléctrica**

Históricamente, la medición de la energía eléctrica consumida por un determinado usuario fue y sigue siendo en muchos casos el medidor electromecánico o instrumento electrodinámico. No obstante, en la actualidad está siendo reemplazado lentamente por dispositivos electrónicos que ofrecen mayor seguridad, eficiencia y flexibilidad para la medición de diferentes parámetros, y no solamente de energía. Incluso estos equipos poseen memoria no volátil para almacenar datos referidos al comportamiento del sistema y permiten realizar su seguimiento.

### **2.3.2 Medidores**

Para poder distinguir los medidores en cuanto a su propósito, se los puede agrupar de la manera siguiente:

- 1) Considerando el sistema de la red a través de la cual se utiliza la energía: medidores monofásicos y trifásicos (para tres y cuatro conductores).
- 2) Considerando el tipo de receptor cuyo funcionamiento influye en la tarifa: medidores de energía activa, reactiva o aparente.
- 3) Considerando el horario de utilización y la máxima carga de corta duración: medidores de tarifa múltiple y de demanda máxima.

Existen diferentes tipos de medidores que pueden pertenecer a uno o varios de estos grupos.

A pesar del constante desarrollo que han tenido los medidores electromecánicos en las últimas décadas, los medidores electrónicos o de estado sólido están abarcando el mercado porque no sólo realizan la misma función que los anteriores, sino que no cuentan con partes móviles o electromecánicas, evitando el error por desgastes y deformaciones. Tienen más prestaciones porque miden

- energía activa, reactiva y aparente
- la demanda máxima
- doble y multi-tarifa
- tensión de línea
- la corriente que está circulando
- el factor de potencia
- y otras características de la red, que determinan un parámetro global denominado calidad de energía

Actualmente hay una gran variedad de este tipo de medidores, cada uno con características diferentes, que permiten cubrir prácticamente todas las necesidades de medición eléctrica para su comercialización.

### **2.3.3 Medidores electromecánicos**

El tradicional medidor electromagnético es un dispositivo que mide la energía total consumida en un circuito eléctrico. Es parecido al vatímetro análogo, pero se diferencia de éste en que la bobina móvil se reemplaza por un rotor. El rotor, controlado por un regulador magnético, gira a una velocidad proporcional a la cantidad de potencia consumida. El eje del rotor está conectado con engranajes a un conjunto de indicadores que registran el consumo total en vatios por hora.

#### **2.3.4 Medidor electrónico**

Durante los últimos años, las empresas de servicios públicos han venido incrementando su familiaridad con la electrónica y sus ventajas para la medición.

Pero también los consumidores se pueden beneficiar indirectamente de los medidores electrónicos de energía en cuatro formas significativas:

a. El servicio al cliente se mejora con el uso de sistemas de lectura remota de medidores (amr) y con una eficiente administración de datos. Además de tener menores dudas sobre las facturas de los servicios públicos, los consumidores se benefician de un sistema más eficiente de distribución de energía. Los apagones se pueden detectar, identificar y corregir más rápidamente para los clientes cuyos medidores están comunicados a través de una red.

b. Se mantiene la limpieza en la distribución al monitorear la calidad energética que algunos clientes aportan al sistema.

c. Se logra un aumento en la precisión de la medición a pesar de las cargas no lineales.

La tendencia es que los consumidores en un futuro se pueden beneficiar en la forma de compra de energía eléctrica, controlando el consumo de este servicio según la demanda. Con el uso de medidores controlados con tarjetas inteligentes (*smart cards*), reducen los costos operacionales del servicio, lectura de medidores, procesamiento de datos y altas y cortes del servicio. Esta función es análoga a las tarjetas prepagadas que hoy existen para la telefonía.

Los medidores electrónicos de energía han superado en funcionamiento a los medidores electromecánicos en términos de funcionalidad y utilidad, pero los costos y confiabilidad han sido cuestionados en diferentes partes del mundo.

El sector de los servicios públicos ha estado fascinado con las historias de lectura automática de medidores (amr), prepago con tarjetas inteligentes (*smart card*) y facturación con multitarifa.

La inversión en manufactura, la precisión y calidad de la medición, y la cantidad de información ofrecida por la medición electrónica son indudablemente superiores a las del diseño tradicional de medidor de disco.

### **2.3.5 Evolución de medidores electrónicos**

Los primeros intentos en el diseño de medidores electrónicos de energía calcularon la potencia mediante la multiplicación de corriente y voltaje en el dominio analógico, pero la linealidad con respecto a la temperatura y el tiempo produjeron resultados no superiores a los medidores electromecánicos.

La tecnología de los medidores electrónicos que marcaron las diferencias entre medidores se basaron en DSP's (*Digital Signal Processing* o Procesamiento Digital de Señal). De esta manera, los conceptos de estabilidad, linealidad y precisión ofrecidos por los sistemas de detección / corrección automática en los cálculos digitales del campo de las comunicaciones llegaron a las puertas de la meteorología de la electricidad.

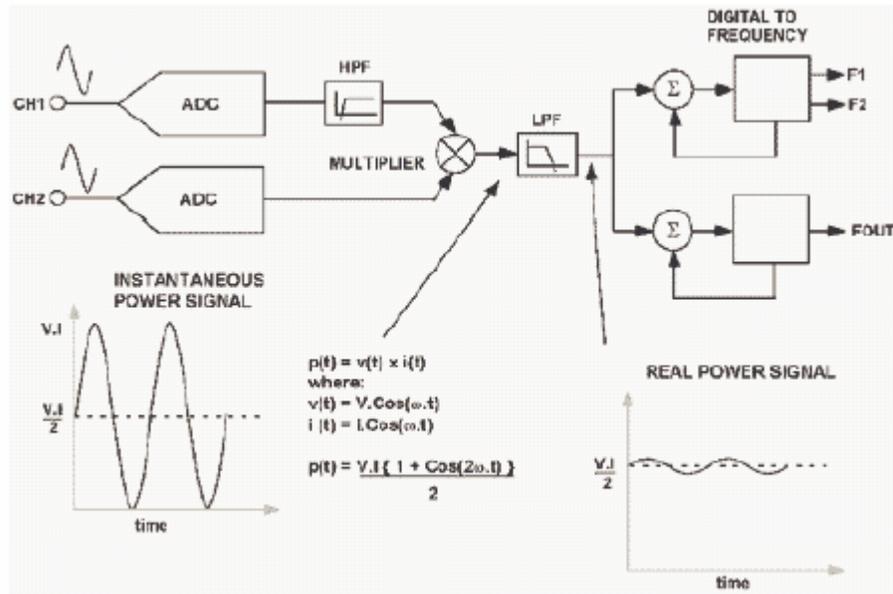
Estos medidores basados en DSP digitalizan las señales de corriente y voltaje por medio de ADCs (*analog-to-digital converters* o convertidores análogo-a-digital) antes de hacer los cálculos. El procesamiento digital de las señales permite el cálculo estable y exacto por encima de las variaciones de tiempo y medio ambiente. Este procesamiento digital se puede manejar de dos formas diferentes: DSPs programables y DSPs de función fija.

Las soluciones con DSPs programables ofrecen la ventaja de reconfiguración post diseño. Obviamente, la facilidad de la reconfiguración es una consideración importante para cualquier medidor electrónico, pero un DSP programable no es el método más económico de conseguir un medidor que ofrezca la flexibilidad de la reconfiguración.

### **2.3.6 Funcionamiento de un medidor electrónico**

El medidor utiliza dos convertidores análogo-a-digital de alta resolución y la lógica para el procesamiento de señales digitales necesaria para mediciones de energía eléctrica. Digitalizan las señales de voltaje a partir de transductores de corriente y voltaje.

**Figura 18 Medidor electrónico**



Fuente: Paul Daigle, Analog Devices Inc., Wilmington, Massachusetts

La estructura de entrada, con su amplio rango dinámico y etapa de ganancia programable en el canal de corriente, alivia inmensamente la interfase del transductor al permitir las conexiones directas al transductor y simplificar el diseño de los filtros *anti-aliasing*. Adicionalmente, un filtro de paso alto elimina cualquier DC del canal de corriente, eliminando las inexactitudes que voltajes desplazados pueden introducir a los cálculos de potencia real.

La potencia real se calcula a partir de la señal de potencia instantánea, la cual se genera al multiplicar las señales de corriente y voltaje. Un filtro de paso bajo extrae el componente de la potencia real (en otras palabras, la DC). De esta manera, se calcula la potencia real correctamente hasta en casos de ondas de corriente y voltaje no sinusoidales y para todos los factores de potencia.

Todo el procesamiento de señales, como filtrado y multiplicación, se hace en la dimensión digital para asegurar alta estabilidad con respecto a la temperatura y el tiempo.

También poseen dos convertidores digital-a-frecuencia, uno que produce una salida de baja frecuencia, el otro con una salida de alta frecuencia. En ambos casos, la frecuencia del pulso de salida de los convertidores digital-a-frecuencia varía con el valor de la potencia real disipada en el tiempo. La salida de baja frecuencia, debido a su largo tiempo de acumulación entre pulsos, tiene una frecuencia que es proporcional al promedio de la potencia real. La salida de alta frecuencia, con su tiempo de acumulación más corto, es proporcional a la potencia instantánea. Como resultado, la salida de alta frecuencia es útil para calibrar el medidor bajo condiciones de carga constante.

## **3 SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN POR SATÉLITE**

### **3.1 Introducción**

Las radiocomunicaciones por satélite tiene por objeto el establecimiento de enlaces entre estaciones fijas o móviles por medio de repetidores situados en una órbita alrededor de la Tierra.

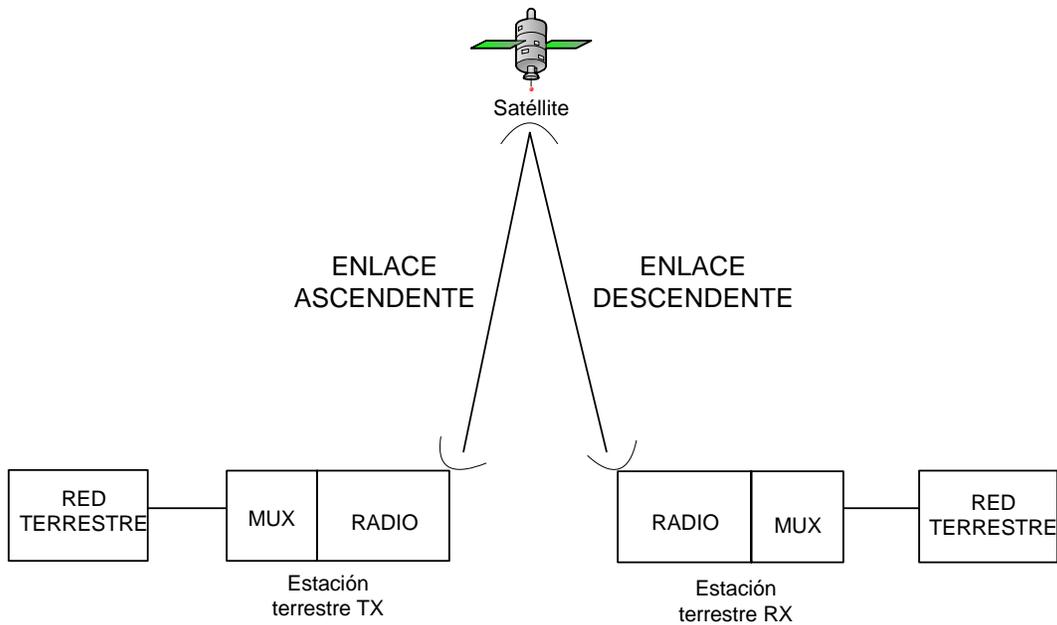
Con el empleo de satélites se logran circuitos de gran calidad y estabilidad y se pueden conseguir grandes alcances de servicio. La utilización de tres satélites geoestacionarios es suficiente para la cobertura de una amplia superficie de la Tierra. Esto porque un satélite geoestacionario “ve” casi la tercera parte de la superficie terrestre y desde luego todo un país.

A pesar de todo ello, la radiocomunicación por satélite aún es viable económicamente. Aun con todas estas ventajas, una red satelital no fue diseñada para sustituir otros sistemas de comunicación terrena, sino como complemento de estos sistemas.

### **3.2 Estructura de un sistema de radiocomunicación por satélite**

En la figura 18 se representa la estructura básica de un sistema de radiocomunicación por satélite. Como podrá apreciarse, guarda una estrecha analogía con la de un sistema de radioenlace terrenal con un repetidor.

**Figura 19. Estructura de un sistema de radiocomunicación por satélite**



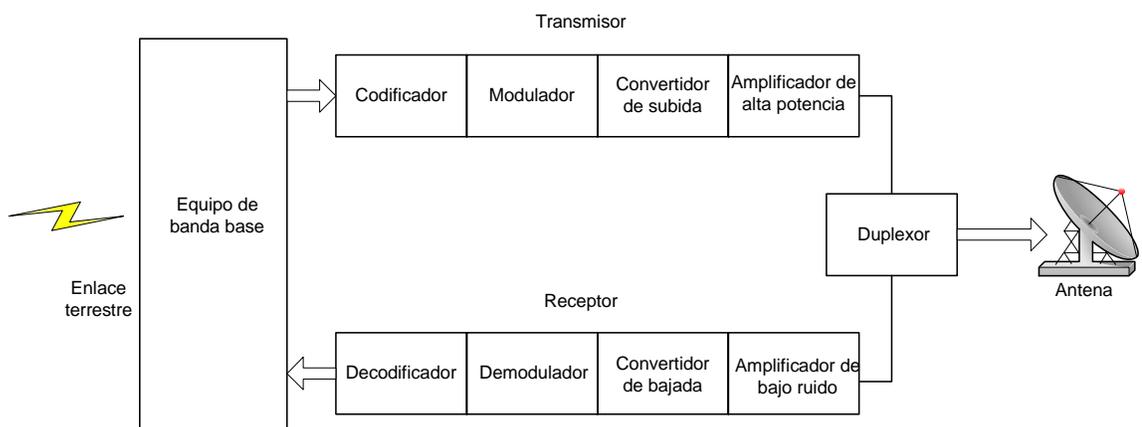
A continuación se describen brevemente los elementos fundamentales de un sistema de enlace satelital.

### 3.2.1 Estación terrestre

La estación terrestre es la encargada de establecer el enlace con el satélite. En la figura 18 se puede observar el diagrama básico de una estación terrestre, la cual se puede dividir en un transmisor y un receptor.

En la parte de transmisión de la estación terrestre llega una señal de banda base proveniente de una red terrestre (figura 19), esta señal primero es procesada (almacenada, multiplexada, etc.) por el equipo de banda base de la estación terrestre y luego se codifica con el propósito de que la señal pueda ser transmitida con un mínimo de errores. Esta codificación se realiza a las señales de tipo digital, es decir, que en el caso de señales en banda base, que hasta este punto aún son analógicas, no aparece este bloque.

**Figura 20. Diagrama básico de una estación terrestre**



Una vez que la señal haya sido codificada pasa al modulador, en donde es modulada a una frecuencia intermedia de portadora FI, que para canales de comunicación en donde se utilizan traspondedores de satélite con un ancho de banda de 36 MHz es de 70 MHz y para canales en donde se utilizan traspondedores con un ancho de banda de 54 o 73 Mhz, es de 140 Mhz. Se modula una frecuencia intermedia en lugar de una frecuencia de RF del enlace de subida, ya que es más complicado el diseño de un modulador en la banda de frecuencia del enlace de subida (6 a 14 GHz).

La frecuencia intermedia, ya modulada, llega al convertidor de subida *upconverter*, cuya función es trasladar la señal de frecuencia intermedia a la frecuencia de RF del enlace de subida.

Luego, la señal modulada es amplificada hasta un nivel adecuado para ser enviada a la antena, y desde ahí al satélite para que la retransmita hacia otra estación terrestre, la amplificación mencionada se lleva a cabo en el amplificador de alta potencia.

La señal que produce el amplificador de alta potencia antes de llegar a la antena pasa por un duplexor cuya función es direccionar adecuadamente las señales de transmisión y recepción para que se pueda utilizar una sola antena para ambos propósitos. Dicho de otra manera, separa las dos señales para usar el mismo equipo de envío y recepción.

En la estación terrestre receptora, la señal RF proveniente del satélite pasa a través del duplexor y luego es enviada al amplificador de bajo ruido LNA, *Low Noise Amplifier*, donde se lleva la señal hasta un nivel adecuado manteniendo siempre la relación señal a ruido.

Después, la señal amplificada por el LNA es entregada al convertidor de bajada, *down converter*, en donde la señal se traslada a una frecuencia intermedia FI para facilitar el diseño del demodulador, como sucede en el caso del transmisor usando un modulador en FI.

Por último, la señal pasa por el demodulador y el decodificador, en donde se realiza un proceso inverso al del modulador y del codificador, respectivamente, para obtener la señal banda base original que había sido transmitida desde la otra estación terrestre. Es conveniente mencionar que al igual que en el caso del codificador, el decodificador aplica sólo para señales digitales y que en algunos casos el codificador, el decodificador, el modulador y el demodulador se integran en un solo bloque denominado módem (modulador – demodulador) satelital.

### **3.2.2 Antena**

Es el elemento encargado de enviar hacia el satélite las señales de RF generadas en la estación terrestre y de captar señales radiadas desde el satélite. Algunas de las características más importantes para la evaluación de la antena son: la ganancia, el patrón de radiación, la temperatura de ruido y el tipo de estructura.

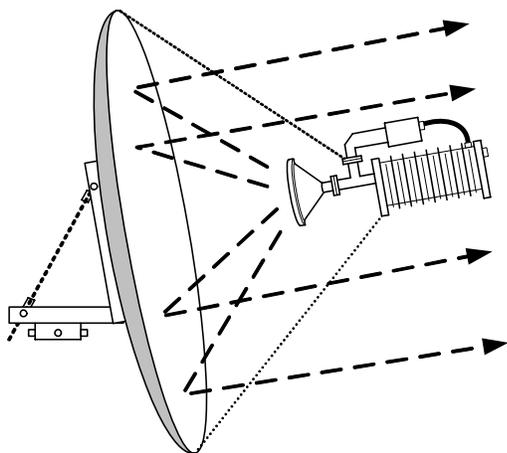
La ganancia es la capacidad de la antena de amplificar las señales, la cual debe ser alta, y la ganancia directiva es la relación de la potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que ambas antenas irradian la misma cantidad de potencia.

En las estaciones terrestre se utilizan antenas parabólicas, las cuales tienen un reflector encargado de concentrar la radiación hacia o desde un elemento denominado alimentador. La radiación proveniente del transmisor es concentrada y enviada por el reflector en una determinada dirección y la radiación es concentrada por el reflector para que sea llevada al receptor.

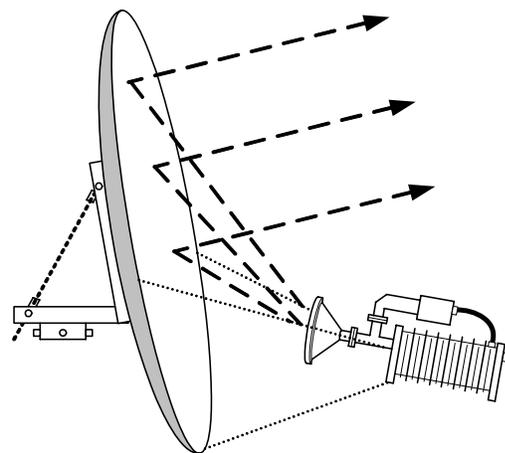
La ganancia de las antenas en mención depende de varios factores, tales como las características de reflector, el tipo de alimentador y la posición y orientación geométrica del mismo.

El diámetro de la antena influye directamente en la ganancia, es decir, que a mayor diámetro, mayor ganancia. También, para un diámetro constante la ganancia aumenta a una frecuencia mayor, debido a que en términos de longitud de onda el diámetro es mayor. Por otro lado, hay que hacer notar que el reflector debe poseer metal en su superficie para cumplir su función, que debe estar libre de irregularidades ya que estas últimas disminuyen la ganancia de la antena.

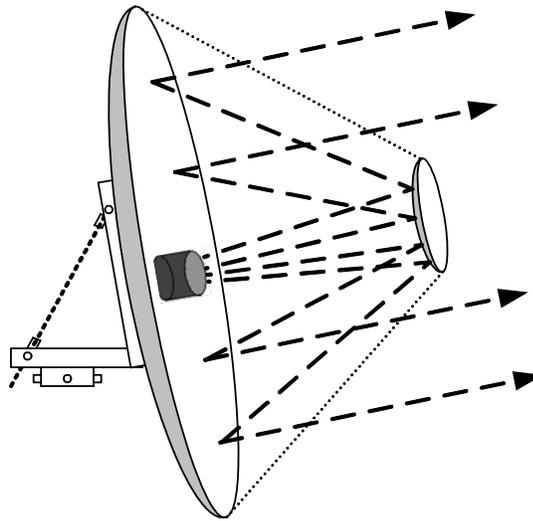
**Figura 21 Tipos de antenas**



Alimentador frontal



Alimentador desplazado



Alimentador Cassegrain

Existen diferentes tipos de antenas, entre ellas las de alimentador frontal, el de tipo de apertura *horn antea*, las de alimentador descentrado *offset* y las *cassegrain*, como se muestra en la figura 20. En dicha figura las antenas aparecen dibujadas en el modo transmisión; para recepción se invierte el sentido de la señal.

Las antenas con alimentador frontal tienen un reflector parabólico y un alimentador colocado en el punto focal del reflector. El alimentador apunta hacia el suelo cuando la antena es orientada hacia el satélite, esto hace que la antena recoja el ruido térmico de la Tierra. Además tiene el inconveniente de que el alimentador y su soporte bloquean las señales, con lo cual sufre degradación. A pesar de sus desventajas, esta antena es fácil de construir y su costo bajo la hace atractiva para aplicaciones en donde son grandes las exigencias de calidad de señal, usualmente se utiliza en estaciones de recepción.

Con la antena de alimentador desplazado se resuelve el problema del bloqueo de la señal por parte del alimentador y su soporte, ya que el reflector es únicamente una sección de un reflector parabólico y permite colocar el alimentador en una posición en la que no causa problemas. Desde luego el costo de la antena es mayor que la de alimentador frontal de dimensiones similares. También tiene el inconveniente de recoger el ruido de la Tierra. Se utiliza en estaciones terrestres de transmisión y recepción de telefonía, televisión y datos.

Las antenas *Cassegrain* están formadas por un reflector paraboidal y un subreflector hiperbólico que permite colocar el alimentador orientado directamente hacia el satélite, con esto el alimentador ya no se ve afectado por el ruido de la Tierra.

Al colocar el alimentador de esta forma, es posible colocar el equipo eléctrico asociado bastante cerca del mismo, con lo cual se reducen las pérdidas debidas al cableado y se mejora el rendimiento del equipo electrónico debido a que está protegido de la radiación solar directa. Estas antenas se utilizan en aplicaciones en donde las exigencias de señal justifican el costo, ya que tienen muy buena ganancia, pero su costo es superior a las mencionadas anteriormente.

Las antenas tienen un determinado patrón de radiación, el cual tiene un lóbulo principal y unos lóbulos laterales. El lóbulo principal es el haz que está en la dirección donde la antena puede emitir o recibir señales más fácilmente, está orientado hacia el satélite y debe ser lo más estrecho posible. Los lóbulos laterales están en las direcciones en las que no se desea que la antena emita o reciba señales y debe tener un bajo nivel para evitar la interferencia.

El patrón de radiaciones se ve afectado por algunos factores, tales como las imperfecciones en la superficie del reflector y los reflejos indeseados del alimentador de la antena y sus soportes. Además del tamaño del reflector, que influye directamente en el patrón de radiación, cuando se aumenta el diámetro del reflector de la antena, se obtiene mayor ganancia debido a que el lóbulo principal de radiación se hace más estrecho y los lóbulos laterales se reducen.

Es importante conocer la sensibilidad con que cuenta la antena. Esta medida es la temperatura de ruido de la antena y depende del patrón de radiación, ya que éste determina la capacidad de la antena para rechazar las señales indeseadas. Debido a que el calor del suelo emite radiación, la temperatura de ruido de la antena es mayor cuando la antena apunta a un ángulo de elevación más bajo. La relación entre la ganancia y la temperatura de ruido de la antena  $G/T$  se utiliza para indicar el desempeño de la antena y del amplificador de bajo ruido.

Para cumplir su función de una manera eficiente, la antena debe estar perfectamente apuntada hacia el satélite. Esto se puede hacer cuando se instala la antena y de una forma periódica, ya sea manual o automáticamente. De cualquier forma, es necesario que la estructura o montaje de la antena permita dicha orientación.

### **3.2.3 Transmisor**

Como se puede observar en la figura 19, el transmisor de una estación terrestre está constituido por el codificador, el demodulador, el convertidor de subida y el amplificador de potencia.

La función del codificador es modificar la señal banda base de acuerdo con ciertos métodos. El más utilizado en redes satelitales es la codificación FEC (*Forward Error Correction*), el cual permite corregir en el lugar de destino una proporción determinada de errores sin necesidad de retransmisión. Esta señal ya codificada debe ser transmitida. Como no es posible transmitirla de manera independiente, se requiere el uso de una portadora, la cual es una señal de RF. Por lo tanto, para combinar la señal que se desea transmitir y la señal de RF se utiliza el modulador. Los tipos de modulación más utilizados en estaciones terrestre son modulación de frecuencia (FM) que es analógica, o modulación de fase (PM) que es digital.

Se modula una frecuencia intermedia inferior a la señal RF que será transmitida a través del espacio debido a la facilidad en el diseño del modulador para esta frecuencia intermedia. Por tal razón, después del modulador se hace necesario instalar un convertidor de subida cuya función es trasladar la frecuencia intermedia a una frecuencia superior para que pueda ser transmitida a través del espacio. El convertidor de subida mezcla la frecuencia intermedia con la de un oscilador local, después pasa la señal a través de un filtro pasa banda para obtener una señal con una frecuencia que pueda ser transmitida a través del espacio.

La señal que entrega el convertidor de subida ya tiene la frecuencia adecuada pero el nivel es muy bajo; por lo tanto, es necesario amplificar esta señal a través del amplificador de alta potencia HPA.

Los HPA de las estaciones terrestres pueden ser del tipo TWTA (*amplifier traveling wave tube*), como los utilizados en el traspondedor del satélite. Ofrece la ventaja de poseer un ancho de banda de alrededor de 5,000 Mhz y de permitir modificar la frecuencia central de operación sin necesidad de resintonizarlo, aunque presenta problemas de intermodulación cuando se amplifican varias señales, en cuyo caso se debe utilizar alejado de su punto de saturación (*back off*). Este tipo de amplificador es fabricado con potencia de salida desde 50 a 100 watts.

Otro tipo de amplificador en estaciones terrestres es el Klystron, el cual posee un ancho de banda estrecho, alrededor de 40 a 100 Mhz. Este ancho de banda es adecuado para algunas aplicaciones.

El amplificador Klystron es bastante fiable, robusto, de larga duración y de menor costo que los TWTA. Los Klystron se encuentran con potencias de salida desde 400 a 5,000 Watts Otro amplificador es el de estado sólido con una potencia de salida de 5 a 50 Watts que se llama SSPA (*solid state power amplifier*) o LPA (*low power amplifier*).

### **3.2.4 Receptor**

El receptor de una estación terrestres generalmente está constituido por un amplificador de bajo ruido LNA (*low noise amplifier*), un convertidor de bajada, un demodulador y un codificador.

Al LNA llega la señal RF que ha sido captada por la antena y entregada a través del duplexor; dicha señal tiene un nivel bastante bajo ya que debe viajar entre el satélite y la estación terrestre. Además, el nivel con el que llega a la estación terrestre; depende de la posición geográfica de esta última debido a que la huella del satélite es distinta en cada punto sobre la Tierra. Por esto, para que la señal sea procesada de la mejor manera, el LNA debe tener un bajo nivel de ruido térmico, para lo cual se utilizan diferentes formas de refrigeración. El LNA debe estar cerca del duplexor para reducir las pérdidas ocasionadas por la línea de transmisión.

Los LNA pueden ser amplificadores paramétricos o amplificadores de transistores de efecto de campo de arseniuro de galio. Los paramétricos utilizan un varactor, y el amplificador se comporta como un amplificador de resistencia negativa.

La señal que entrega el LNA va hacia el convertidor de bajada, cuya función es convertir la señal RF modulada en una frecuencia intermedia que puede ser de 70 o 140 MHz, para lo cual el convertidor mezcla la señal de RF con la de un oscilador local. Esta conversión puede llevarse a cabo de un solo paso o puede ser doble. En algunas ocasiones, el convertidor de frecuencias está integrado con el LNA en un solo bloque denominado bloque de bajo ruido LNB (*low noise block*).

El demodulador recibe la señal que entrega el convertidor de frecuencia; es una señal de frecuencia intermedia modulada ya sea en FM o en PSK. A partir del tipo de frecuencia intermedia y de la modulación de la señal, el demodulador debe recuperar la señal en banda base que fue transmitida desde otra estación terrestre.

Debido a que la señal de banda base original pasó a través de varios procesos, la señal recuperada no es una copia fiel, aunque se espera que sea lo más parecida posible. Por tal razón se determina la relación señal a ruido S/N (*signal noise*) cuando las señales banda base son señales analógicas, o la tasa de errores cuando se trata de señales digitales. La relación señal-ruido se mide en dB; y la tasa de errores, en número de bits con error respecto a bit sin error.

### **3.2.5 Los enlaces ascendente y descendente**

Tanto en los enlaces ascendentes (tierra/espacio) como en los enlaces descendentes (espacio/tierra), la propagación en condiciones de espacio libre es una característica fundamental, con la que también está asociada una atenuación proporcional al cuadrado de la frecuencia y de la distancia. Puede también existir atenuación adicional por lluvia y/o partículas en el trayecto de los enlaces.

Debido a la limitación de potencia del satélite, el enlace descendente es el más desfavorable, y por eso se le asignan a este las frecuencias más bajas del grupo del servicio de telecomunicación por satélite.

### **3.3 Recursos de un sistema de radiocomunicación por satélite**

Los recursos de un sistema de radiocomunicación por satélite son aquellos elementos geométricos y radioeléctricos con que puede contar tal sistema para la prestación del servicio que de él se espera. Podemos distinguir los siguientes:

### 3.3.1 Órbita

Es la trayectoria que sigue el satélite alrededor de la Tierra. La elección de la órbita es un asunto de vital importancia y condiciona una buena parte del diseño técnico y operativo del sistema. Para telecomunicaciones se usa casi exclusivamente la órbita geoestacionaria, o sea que el satélite se encuentra estático respecto a la Tierra.

### 3.3.2 Cobertura

Estando el satélite fijado en su órbita geoestacionaria, la cobertura de la superficie terrestre desde el satélite depende fundamentalmente del tipo y anchura del haz de la antena. Sobre la base del tipo de haz, las antenas se clasifican en tres categorías:

- a) **De haz global**, cuya cobertura es un tercio de la superficie terrestre, aproximadamente.
- b) **De haz puntual o restringido**, cuya cobertura es aproximadamente de 800 km cuadrados de la superficie terrestre, implica una cobertura de haz de  $1^\circ$ .
- c) **De haces perfilados**, que son todas las coberturas intermedias a las dos anteriores; se utilizan para países, compañías multiestatales, archipiélagos, etc.

La elección de haces se efectúa en función del tipo de sistema y volumen de tráfico.

### 3.3.3 Acceso múltiple

Es la propiedad por la cual pueden establecerse enlaces simultáneos entre diversas estaciones terrenas a través del satélite, lo cual supone compartir la explotación del satélite mediante algún tipo de multiplexación de señales.

### 3.3.4 Ancho de banda

Es la porción de espectro asignada a las telecomunicaciones por satélite. Ésta es limitada y, como la demanda mantiene un crecimiento permanente, es necesario utilizar este recurso con la mayor eficacia posible. Para lograrlo, se deben seguir las siguientes directrices:

- a) **Utilización de bandas de frecuencias más elevadas que las atribuidas en un principio.** De esta manera, se ha usado otra banda además de la ya asignada. Debido a que se escogió una banda de frecuencia mayor, surgen nuevos problemas en el sistema. Entre todos ellos, es más notable el que se presenta en la propagación de la señal, como por ejemplo: mayor influencia de la atenuación por lluvia.
- b) **Reutilización de bandas de frecuencia.** Con esta técnica se obtiene mayor rendimiento del espectro a costa de una mayor complejidad técnica en el equipo y en la eliminación de interferencias. Para reducir las interferencias mutuas, hay que separar los haces que comparten frecuencias, separándolos suficientemente o utilizando polarizaciones opuestas.

- c) **Mejor aprovechamiento de la anchura de banda.** Esto significa un aumento del número de canales por MHz de anchura, lo cual supone efectuar un tratamiento especial de las señales y aplicar métodos de modulación eficaces.

### **3.3.5 Potencia**

La potencia disponible a bordo del satélite se especifica en términos de la PIRE. Depende de la capacidad del satélite y cobertura asignada a los haces de antena. Debe tener un valor aproximado entre la cifra impuesta con relación a la gran distancia entre el satélite y la Tierra y las limitaciones de energía a bordo. Las nuevas tecnologías de paneles solares y amplificadores de potencia de microondas con tubos de ondas progresivas (TWT) permiten conseguir niveles suficientes de potencia, por lo que actualmente la limitación viene impuesta por las posibles interferencias que el satélite puede ocasionar sobre sistemas de radioenlaces terrestres que compartan las mismas bandas de frecuencias, lo cual impone un límite a la densidad de flujo de potencia que el satélite puede producir sobre la superficie terrestre.

## **3.4 Técnicas de acceso múltiple al satélite**

Cuando se desea utilizar un repetidor de satélite para un sistema de comunicaciones, se analiza cuál es el ancho de banda requerido. Este ancho de banda puede corresponder a uno o varios transpondedores. También se puede presentar que el ancho de banda requerido no sea permanente, es decir, que se requiera sólo durante ciertos períodos de tiempo.

Debido a que el ancho de banda del traspondedor del satélite es un recurso finito y ya que el ancho de banda que ocupa el repetidor del satélite influye directamente en los costos de utilización del mismo, se hace necesario realizar una administración eficiente del ancho de banda. Para esto se utilizan las técnicas de acceso que son normas bajo las cuales uno o más usuarios pueden acceder y utilizar el ancho de banda de un traspondedor de satélite.

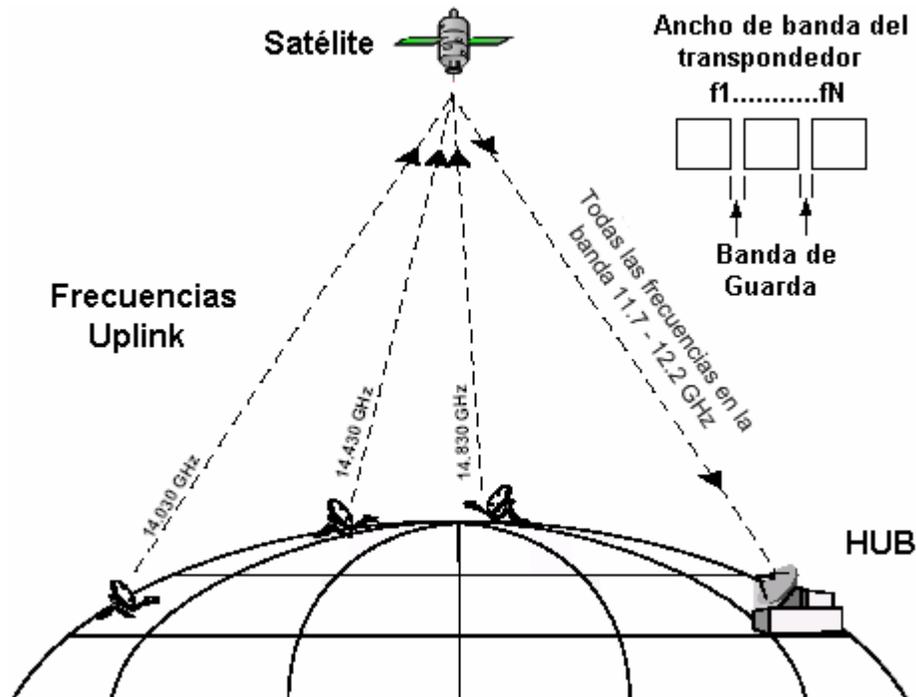
### **3.4.1 Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA**

FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) consiste en dividir el ancho de banda total del traspondedor del satélite en bandas de frecuencias más pequeñas llamadas subdivisiones. Cada subdivisión se utiliza para llevar un canal de información.

Se utiliza un mecanismo de control para asegurar que dos estaciones terrestres no transmitan en la misma subdivisión y al mismo tiempo.

Existen dos técnicas FDMA: Portadora Multicanal, MCPC (*multiple channel per carrier*) y canal único con portadora SCPC (*single channel per carrier*). Con el método MCPC se envían varios canales sobre una misma portadora, la cual puede ser modulada en forma analógica o digital. En el caso de una transmisión analógica, los canales individuales (señales de banda base) son primero multiplexados en grupos para formar una señal FDMA y luego se modula la portadora FM. Para la transmisión digital, los canales de banda base primeros son combinados en TDM (multiplexación por división de tiempo), luego el tren digital modula una portadora utilizando modulación por desplazamiento de fase PSK (*Phase Shift Keying*).

**Figura 22. Acceso múltiple por división de frecuencia FDMA**



En la figura 22 se muestra gráficamente esta técnica de acceso. Se puede observar también que una gran parte del ancho de banda total del transpondedor se utiliza por las bandas de guarda que son necesarias para obtener la debida separación espectral de canales.

Ventajas:

- Son directamente compatibles con sistemas de teléfono analógicos terrestres.
- Varios usuarios geográficamente dispersados, pequeños, medianos y grandes, pueden utilizar en conjunto el mismo transpondedor.
- Flexible en reconfiguraciones, coordinación entre transpondedores.

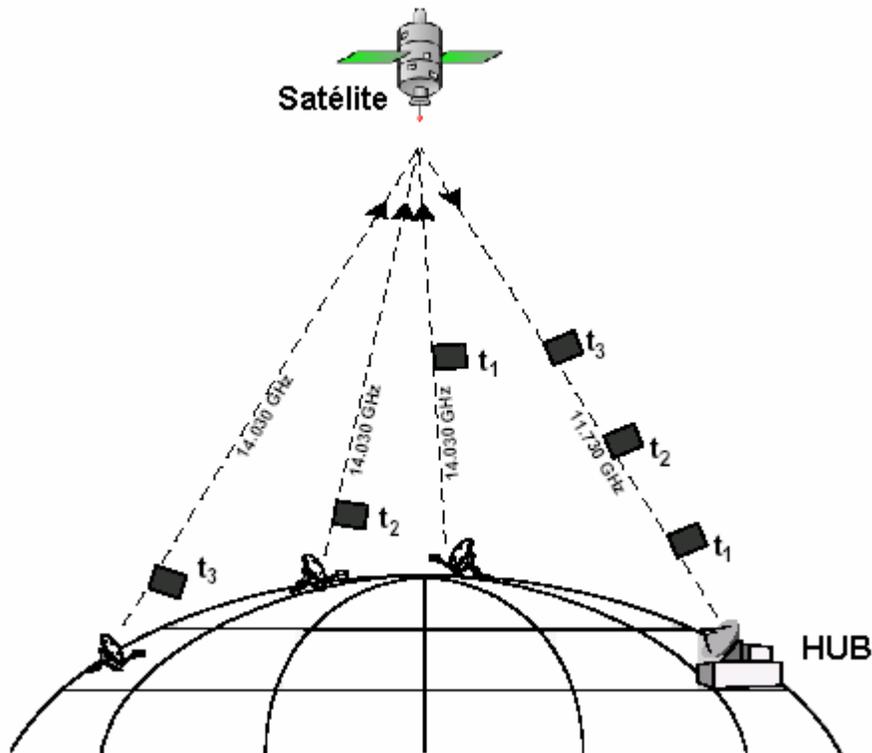
Desventajas:

- a) No puede mantener elevado crecimiento de demanda por servicios.
- b) Capacidad más baja que todas las técnicas digitales usadas actualmente.
- c) No se puede acomodar fácilmente el ancho de banda digital de los datos en sistemas terrestres.
- d) La intermodulación en repetidores (estaciones terrestres), requiere potencia de control en enlace ascendente.
- e) Al utilizar FDMA, las portadoras múltiples (estaciones terrestres) pueden estar presentes en un transpondedor de satélite al mismo tiempo. Esto resulta en una distorsión por modulación cruzada entre varias transmisiones de las estaciones terrestres.

### **3.4.2 Acceso múltiple por división de tiempo TDMA**

TDMA (*time división múltiple access*) es un método en donde las estaciones terrenas que utilizan el satélite comparten un transpondedor o fracción del mismo en el tiempo, es decir, primero se transmite una estación terrestre, luego la siguiente y así sucesivamente hasta que todas las estaciones participantes han utilizado el transpondedor por un intervalo de tiempo, luego el ciclo se repite para todas las estaciones terrestres. Esta técnica es totalmente digital. La figura 23 muestra esta técnica de acceso.

**Figura 23. Acceso múltiple por división de tiempo TDMA**



Debido a que con TDMA se asigna un tiempo para cada estación, debe existir una estricta sincronización en la red. Para ello se utilizan tramas de tiempo, las cuales no son más que la forma en la cual está organizada toda la información proveniente de las estaciones terrestres, una estructura de trama contiene información de referencia e información de tráfico. La de referencia sirve para algunos propósitos tales como recuperación de reloj, canal de servicio, etc. La información de tráfico consiste en la información de cada una de las estaciones participantes en una forma ordenada y secuencial.

De acuerdo con las necesidades de las estaciones terrestres, se puede asignar tiempo a cada una de ellas de diferentes maneras. El primer método es realizar la asignación de forma manual desde una estación central de acuerdo con las necesidades de las estaciones. La segunda consiste en que de acuerdo con un conocimiento previo de las horas en las que ciertas estaciones manejan más tráfico, el sistema está diseñado para asignar más tiempo dentro de la trama a estas estaciones en dichas horas.

El tercer método consiste en un sistema de asignación completamente automático, que tiene la capacidad de asignar más o menos tiempo dentro de la trama a las diferentes estaciones de acuerdo con la cantidad de tráfico que estén manejando.

Ventajas:

- a) Uso máximo de la potencia del satélite.
- b) El control de potencia del enlace ascendente no es requerido.
- c) Plan simple de frecuencias.
- d) Técnica digital compatible con el uso de codificación para conservar la potencia.
- e) Asignación flexible de posible capacidad para proveer características de demanda de acceso.
- f) Capacidad de acomodar una razonable mezcla de terminales de tierra.

Desventajas:

- a) Requiere redes de tiempo.
- b) Señales analógicas deben ser convertidas en forma digital.
- c) Planes de interfase con FDM terrestres son de costo elevado.

- d) No es conveniente para estaciones con pequeño tráfico.
- e) En comparación con FDMA, el TDMA requiere de una sincronización precisa, es decir, las transmisiones de cada estación terrestre deben ocurrir durante un período de tiempo preciso.

### **3.4.3 Acceso múltiple por división de código CDMA**

La técnica CDMA (*Code División Múltiple Access*) se utiliza en portadoras moduladas digitalmente. Con ello no hay restricciones de ancho de banda ni de tiempo, como sucede con FDMA y TDMA respectivamente, aquí todas las estaciones participantes pueden enviar su información hacia el satélite, utilizando todo el ancho de banda asignado y al mismo tiempo. Luego, el satélite retransmite, también al mismo tiempo, la información de todas las estaciones participantes.

Para poder diferenciar la información de cada estación y que no existan conflictos, se utilizan técnicas de codificación y decodificación. En la transmisión al satélite, cada bit de la información se transforma en un tren de bits de acuerdo con un código determinado que es único para cada estación. Luego, en la recepción de las señales enviadas por el satélite, cada estación puede decodificar y recuperar los mensajes que le corresponden de acuerdo con el código predeterminado que se mencionó anteriormente. Además, las otras señales no interfieren porque poseen códigos distintos.

La ventaja de esta técnica de acceso es su confiabilidad e inmunidad a la interferencia y se utiliza para aplicaciones militares, la principal desventaja de esta técnica de acceso es que se utiliza un gran ancho de banda debido a que cada bit de información se transforma en un tren de bits.

Es por ello que CDMA es la tecnología digital inalámbrica más utilizada, puesto que la utilización del ancho de banda en la comunicación es altamente eficiente y permite una mejor calidad en voz, llegando a ser muy similar a la transmitida en línea alámbrica. Además, filtra los ruidos de fondo, cruces de llamadas e interferencias por interrupciones o por flujo de señales de ocupado que congestionan el sistema, mejorando en forma considerable la privacidad y calidad de la llamada generada.

El protocolo CDMA se caracteriza por utilizar un espectro amplio de frecuencias determinadas para una o más señales superpuestas ortogonalmente durante todo el tiempo de duración de la comunicación. La ortogonalidad de las señales, generadas por un código codificador de la banda base, hace prácticamente nula la posibilidad de colisión entre las señales que comparten el canal; a su vez, favorece la seguridad en la privacidad de la información transmitida capaz de ser reconocida solo por el receptor del enlace.

Las principales características de esta tecnología son:

- Utilización de todo el ancho de banda en el enlace por ensanchamiento de la banda base, superponiendo a los usuarios. Con respecto a un canal analógico, la capacidad aumenta 10 a 15 veces en condiciones de máximo flujo.
- Posibilidad de la creación de nuevos servicios al cliente y evolución del sistema debido a la versatilidad del código y la señalización digital.
- Costos inferiores a la tecnología analógica debido al desarrollo de componentes electrónicos digitales.

- Uso eficiente de las fuentes de poder (baterías) en los aparatos con la tecnología debido a que la estructura de CDMA se encuentra diseñada para operar en ciertos niveles de potencia. Además, presenta la capacidad de detectar tiempo ocioso en el canal, por lo que se disminuye la potencia media de transmisión.
- Alta relación señal a ruido y baja probabilidad de errores en el código por la utilización de redundancia debido a la magnitud del ancho de banda utilizado.

#### **3.4.4 Acceso múltiple por asignación por demanda, DAMA**

DAMA, procede de las siglas en inglés de *Demmand assigment multiple access*. Cuando un canal es utilizado por una determinada estación terrestre, esta asignación puede ser de una manera permanente o se puede asignar por ciertos periodos de acuerdo con la demanda del usuario. En el caso de la asignación permanente, el usuario tiene disponible el canal todo el tiempo, y se le llama canal dedicado. La asignación por periodos es utilizada por aquellos usuarios que poseen un tráfico intermitente y esporádico con el objeto de evitar que exista capacidad ociosa y evitar costos innecesarios.

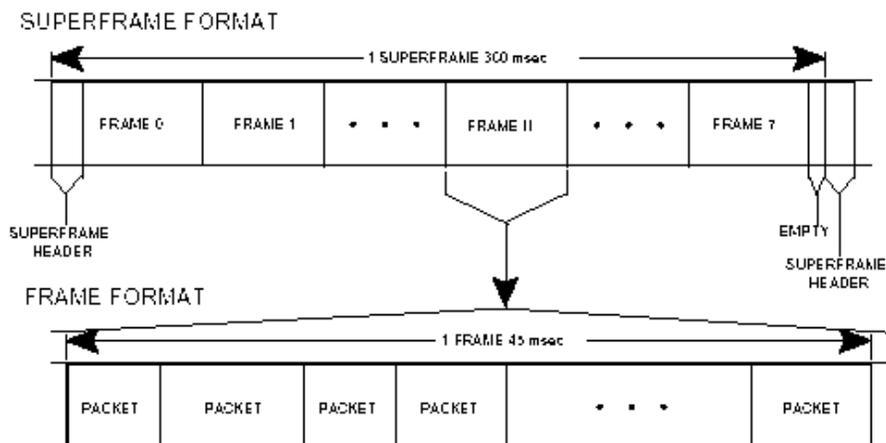
Cuando se utiliza el sistema DAMA debe existir una estación terrestre que se encargue de coordinar la asignación de los canales del transpondedor del satélite, debido a que cuando una estación terrena necesita utilizar cualquiera de los canales, primero debe solicitarlo a la estación central para que se le sea asignada una frecuencia central. Esta frecuencia es diferente cada vez que el usuario solicita el canal.

### 3.5 Estructura de paquetes

#### 3.5.1 Ruta saliente

La ruta saliente utiliza un formato de trama TDM que está dividido en supertramas de duración de 360 milisegundos. Las súper-tramas están divididas en 8 tramas de 45 milisegundos que contienen paquetes de datos. Estos paquetes son de diversos tamaños, dependiendo del contenido de datos. Se utiliza un protocolo especial para suministrar detección de errores y recuperación sobre el enlace espacial. Este protocolo tiene capacidad de verificación de errores y de retransmisión, de tal forma que la información transmitida no es vulnerable a errores aleatorios de bits cuando se activa la terminación local de protocolo. El encabezamiento de la supertrama contiene un número de identificación de ruta saliente que es único para cada ruta saliente. Este número de rutas saliente es utilizado por el puerto de la unidad interior (IDU) para identificar positivamente la ruta saliente con la cual se sincroniza. En la figura 23 se muestra la estructura de trama de rutas salientes.

**Figura 24. Formato de trama de ruta saliente**

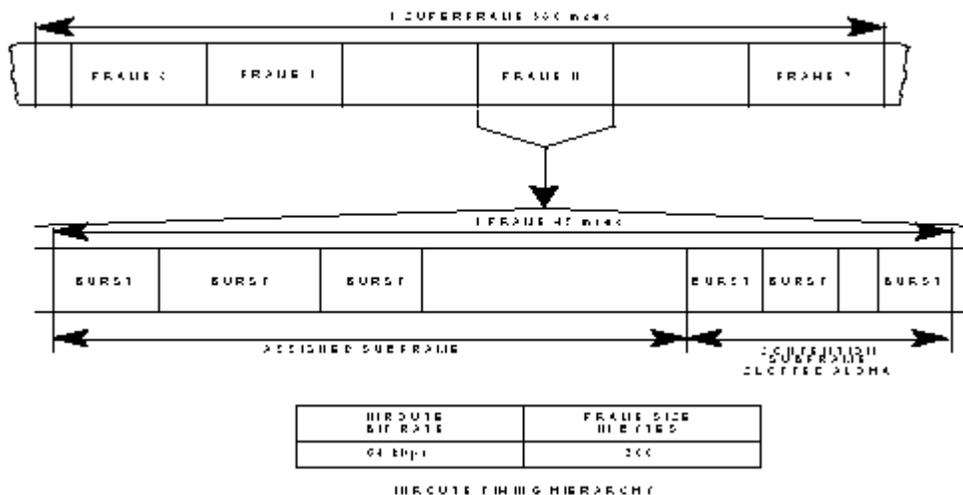


Fuente: Hughes Network, ISBN, Pág 1-8

### 3.5.2 Ruta entrante

La ruta entrante utiliza un formato de trama TDMA que también está basado en una supertrama de 360 milisegundos dividido en 8 tramas de 45 milisegundos. Dentro de las tramas TDMA, la ruta entrante puede contener una serie de impulsos TDMA. Estos impulsos son de diversos tamaños y pueden contener una serie de paquetes. El comienzo de cada impulso está indicado por el preámbulo, que es utilizado por el *hub* para detectar el comienzo del impulso y su correspondiente fase de carrier y asignación de tiempo. El preámbulo viene seguido por los paquetes de datos. El formato de cada paquete está basado en el protocolo de enlace espacial ODLIC. Después de los paquetes, los impulsos son terminados por la cola de “corrección de errores hacia adelante” (FEC). La figura 24 muestra la estructura de la trama de rutas entrantes.

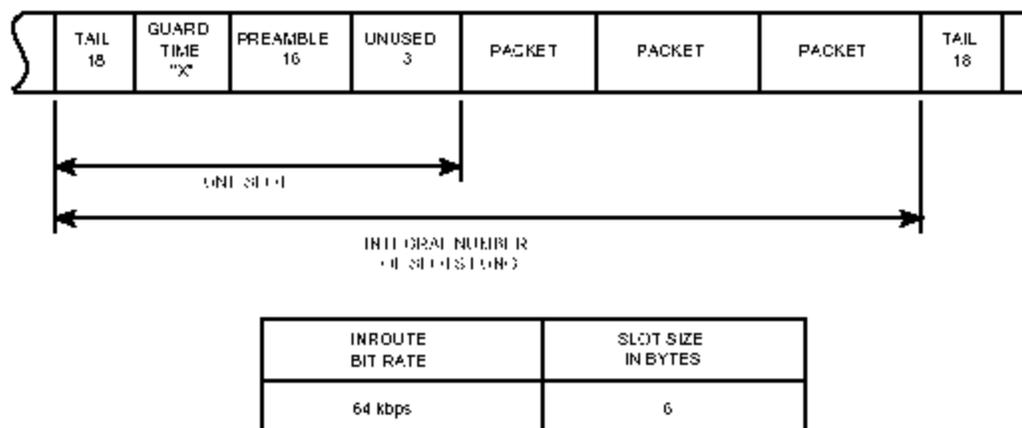
**Figura 25. Formato de trama de ruta entrante**



Fuente: Hughes Network, ISBN, Pág 1-8

La trama de la ruta entrante puede ser dividida adicionalmente en dos grupos de impulsos o sub-tramas: la sub-trama asignada y la sub-trama Aloha ranurado. La sub-trama asignada se utiliza para suministrar la capacidad de reserva para los terminales PES, y el canal Aloha ranurado se utiliza para el acceso aleatorio por parte del sistema PES. También se utiliza un canal Aloha para el canal de supervisión de comunicaciones entre el remoto PES y el *hub*. Esto se puede visualizar en la figura 25.

**Figura 26. Trama de impulsos (*Burst Frame*)**

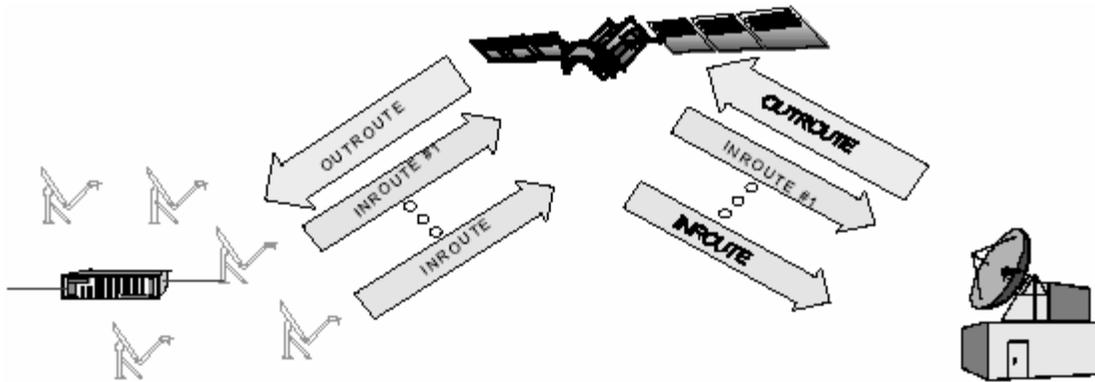


Fuente: Hughes Network, ISBN, Pág 1-9

### 3.6 Accesos al enlace espacial

Un *hub* ISBN utiliza una sola ruta saliente del *hub* a las remotas, y una o más rutas entrantes de los puertos PES al *hub* (figura 26). El número de rutas entrantes asignadas a la ruta saliente puede variar, dependiendo de las cargas esperadas de tráfico y de los requerimientos de tiempo de respuesta.

**Figura 27. Acceso al enlace espacial**



Fuente: Hughes Network, ISBN, Pág 1-10

El *hub* transmite a todos los terminales PES sobre la ruta de salida; por tanto, se ha escogido una técnica de multiplexión de paquetes para transmisiones sobre este enlace. La multiplexión de paquetes difiere del TDM convencional en que los paquetes de tráfico no tienen que aparecer periódicamente en la corriente de transmisión. Se reconocen por una dirección dentro de un encabezamiento de paquetes, más que por su ubicación de segmento de tiempo (*timeslot location*), como ocurre en el TDM convencional. Cada puerto PES monitorea una ruta de salida en busca de paquetes cuyas direcciones correspondan a uno de sus puertos de voz o de datos.

De igual forma, cada terminal PES está inicialmente asignado a una ruta entrante "local" sobre una frecuencia específica de carrier de transmisión, y es asignado o selecciona segmentos de tiempo de transmisión en forma dinámica con base en las solicitudes de capacidad.

Se requiere de coordinación debido a que más de un remoto PES comparte un solo enlace de ruta entrante. Tanto el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) como el TDMA, al igual que el direccionamiento de paquetes, se utilizan en las rutas entrantes. La capacidad de conmutación de ruta entrante de la terminal PES permite que las remotas se muevan dinámicamente a través de rutas entrantes para utilizar eficientemente el ancho de banda disponible. Esta combinación de conmutación por paquetes, TDM, FDMA, TDMA y de ruta entrante, permite manejar miles de terminales de datos interactivos con una fracción de la potencia y del ancho de banda disponibles en un solo emisor receptor.

El operador del sistema puede configurar individualmente la tarjeta del puerto de datos dentro de cada terminal para cualquiera de 3 técnicas de acceso múltiple de ruta entrante; o un puerto PES puede conmutar dinámicamente entre dos, durante cada sesión, dependiendo de los requerimientos de información entrante en ese momento para esa sesión.

### **3.6.1 Aloha**

El método de acceso Aloha es adecuado para datos con longitudes de mensajes relativamente uniformes y requerimientos de tiempo de respuesta relativamente cortos. En este modo, un conjunto de segmentos de tiempo está a disposición de las remotas de acceso espontáneo para el envío de mensajes de control o de datos. Es posible que múltiples remotas transmitan simultáneamente, lo cual causaría una colisión y requeriría retransmisiones.

### **3.6.2 Reserva de transacciones**

En este modo se hace una reservación explícita para transmitir una transacción de datos sin peligro de colisión. La reservación de transacciones es adecuada para datos muy extensos y variables, o para velocidades de tráfico muy variables. Ofrece la mejor utilización de la capacidad, al igual que un tiempo de respuesta relativamente estable.

### **3.6.3 Stream**

Puede asignarse un *Stream* dedicado de segmentos de tiempo a un puerto PES, permitiendo la transmisión de una serie de transacciones sin conflicto con otras remotas. Este método de acceso es esencialmente idéntico al TDMA convencional. El acceso por corriente es adecuado para aplicaciones con un intenso o continuo volumen de datos entrantes. Este método es también muy apropiado para manejar voz.

### **3.6.4 Método de acceso adaptable**

Los datos de usuario sobre un puerto específico no son siempre predecibles. Por ejemplo, un procesador remoto podría estar multiplexando datos interactivos y por lotes a un enlace SDLC único. En este caso, es mejor seleccionar dinámicamente el tipo de técnica de acceso que va a ser utilizada, con base en las características de la carga ofrecida. Con el método de acceso adaptable puede configurarse un puerto para que opere con dos técnicas, tal como flujo y reserva de transacción. Puede entonces asignarse un umbral de alta velocidad y uno de baja velocidad a cada dispositivo (por ejemplo una unidad física (PU)).

Se utilizará la técnica de acceso de alta velocidad en el momento en que la velocidad de datos para ese dispositivo exceda el umbral de alta velocidad. Podrá utilizarse la técnica de acceso de menor velocidad una vez la carga ofrecida se reduzca a la velocidad menor. Además de ser capaz de cambiar de dispositivo en forma dinámica entre técnicas de acceso, el método de acceso adaptable también aprovecha la conmutación de ruta entrante siempre que sea necesario y posible.

### **3.6.5 Conmutación de ruta entrante**

Además de la asignación dinámica de ancho de banda dentro de una ruta entrante, una característica llamada "conmutación de ruta entrante" permite hacer automáticamente asignaciones de ancho de banda a través de las rutas entrantes. Por ejemplo, si un determinado puerto PES requiere de ancho de banda que no está disponible en la ruta entrante con la cual está actualmente sincronizado, el *hub* podrá automáticamente asignarle ancho de banda en otra frecuencia para esa transmisión.

### **3.6.6 Optimización de Aloha**

La optimización ajusta dinámicamente la configuración de ruta de entrada, dependiendo de las características de tráfico. El procesador de asignación de demanda (DAP) transfiere el ancho de banda reservado para transacciones no asignadas a control o a Aloha de usuario. En lugar de desperdiciar el ancho de banda que no puede ser utilizado debido a insuficientes solicitudes de transacción, el ancho de banda se transfiere a Aloha en forma de impulsos adicionales. La optimización es especialmente útil para remotas en una ruta entrante que están configuradas para reserva de transacciones utilizando reserva de transacción y Aloha.

### 3.7 Sistema VSAT

Las redes VSAT (*Very Small Aperture Terminal*) se utilizan para comunicaciones de voz y datos de baja densidad de tráfico entre dos puntos distantes. Están constituidas por una estación principal que es la encargada de administrar la red y el conjunto de terminales ubicadas en diferentes puntos remotos. Estos puntos remotos están conectados al *Hub* (centro de actividad) a través de los transpondedores del satélite.

Los sistemas VSAT presentan, con respecto a otras soluciones más convencionales de redes terrenales, las siguientes ventajas:

- Accesibilidad a todos los puntos, por alejados que estén.
- Gran calidad y disponibilidad
- Facilidad de instalación
- Gran facilidad para adaptación al tipo de tráfico.
- Menores costes de realización y explotación de la red.

La VSAT es una estación terrena del servicio fijo por satélite geostacionario utilizada para una gran variedad de aplicaciones en el campo de las telecomunicaciones, que incluye las comunicaciones de datos interactivas y por lotes en diversos protocolos, operación de redes con conmutación de paquetes, servicio de voz y transmisión de datos y videos. Las VSAT y la tecnología afín puede dividirse aproximadamente en las siguientes áreas:

- a. Un solo canal por portadora (SCPC): estos tipos de sistemas se caracterizan por una señal portadora transmitida ininterrumpidamente (asignación de frecuencia exclusiva).

- b. Las VSAT de red en estrella: el tipo más común de VSAT depende de la operación de la estación terrena maestra (*HUB*) y cuenta con una antena parabólica de gran diámetro, generalmente de 4 a 8 m para la retransmisión de datos. Las VSAT individuales no pueden recibir las transmisiones directamente de unas a otras pero se comunican en forma exclusiva con la estación terrestre maestra (*HUB*), utilizando transmisiones generalmente “en ráfaga” y protocolos de contención para minimizar la amplitud de banda necesaria. El diámetro de la antena de la estación terrestre VSAT en general oscila entre 1.2 m y 3.8 m.
  
- c. Las VSAT de red en malla: es un tipo de VSAT menos común que comparten el mismo grupo de canales y que pueden recibir directamente las transmisiones entre sí. Debido a los mayores requerimientos de potencia, generalmente se utilizan parabólicas de mayor diámetro (de 3 m o más). Este tipo de VSAT generalmente se limita a operaciones de voz.
  
- d. Las VSAT de menos de un metro (VSAT): la tecnología más evolucionada de las VSAT, utiliza antenas más pequeñas de menos de 1m de diámetro y tecnología altamente integrada para permitir el acceso a bajo costo a la red VSAT. Las VSAT operan en red en estrella y requieren una estación terrestre maestra (*HUB*).

Se podría decir que la topología de la red VSAT es diseñada regularmente en estrella. Su velocidad de operación es de 64 Kbits/s, opera en la banda C o Ku, utiliza modulación PSK o QPSK y la técnica de acceso utilizado puede ser FDMA, TDMA o CDMA.

Debido a sus características, las redes VSAT ofrecen alta confiabilidad, flexibilidad de configuración e instalación fácil y rápida en las estaciones remotas.

### **3.7.1 Hub central**

El *HUB* es una estación más dentro de la red pero con la particularidad de que es más grande. Habitualmente el *HUB* está situado en la sede central de la empresa que usa la red o en su centro de cálculo. Desde el *HUB* se monitorea toda la red de VSAT's. De ello se ocupa el *Network Management System* (NMS). El NMS es un computador o estación de trabajo que realiza diversas tareas como:

- Configurar la red (puede funcionar como una red de broadcast, estrella o malla)
- Control y alarma
- Monitoreo del tráfico
- Control de los terminales
- Habilitación y deshabilitación de terminales existentes
- Actualización del software de red de los terminales
- Tareas administrativas:
  - Inventario de los terminales
  - Mantenimiento
  - Confección de informes
  - Tarifación (en caso de ser un HUB compartido).

Gran parte del éxito de una red VSAT radica en la calidad del NMS y en su respuesta a las necesidades de los usuarios.

## **3.7.2 Configuraciones de redes VSAT**

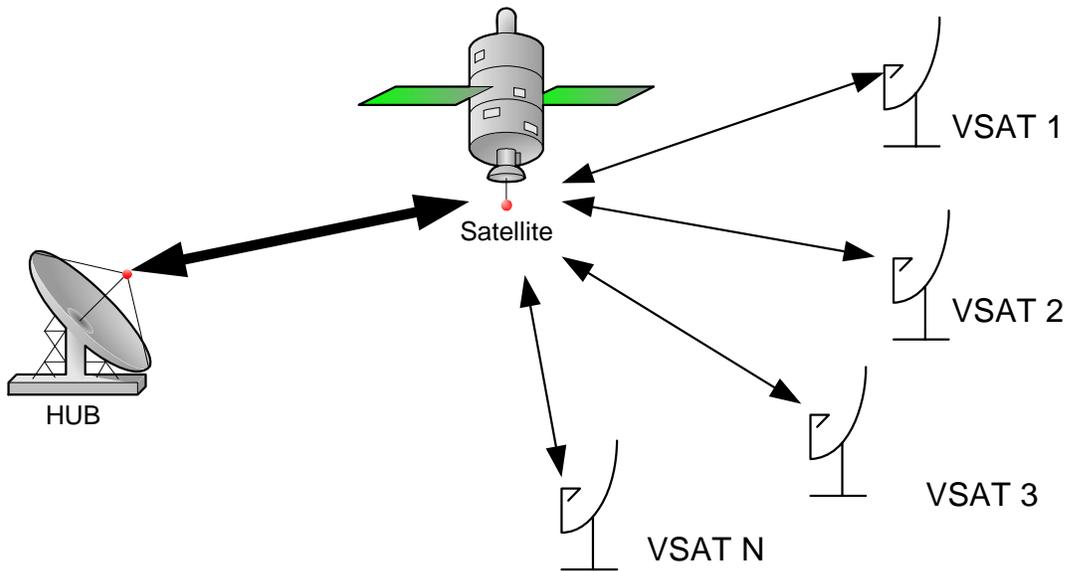
### **3.7.2.1 Red en estrella en un salto**

El objetivo principal de los enlaces VSAT es establecer canales de comunicación entre dos puntos que por enlaces terrestres serían económica y tecnológicamente inviables. No se debe olvidar que las redes VSAT son redes satelitales muy económicas.

Como ya se mencionó, unas de las características más importantes de las redes VSAT son: su bajo costo, antenas de dimensiones pequeñas, etc. Estas características se vuelven desventajas a la hora de pretender comunicar VSAT's entre sí, pues por hacer uso de satélites geoesacionarios se encuentran inconvenientes como: atenuación en los enlaces, potencia limitada de emisión del satélite, terminales con receptores con sensibilidad limitada, etc.

Por lo tanto, los enlaces directos entre VSAT's no cumplen unos mínimos requisitos de calidad. Por eso necesita una estación terrestre que actúe de retransmisor (el Hub central). Lo que nos lleva configuraciones tipo estrella, como la que se presenta en la figura 27.

**Figura 28. Topología en estrella, red VSAT**

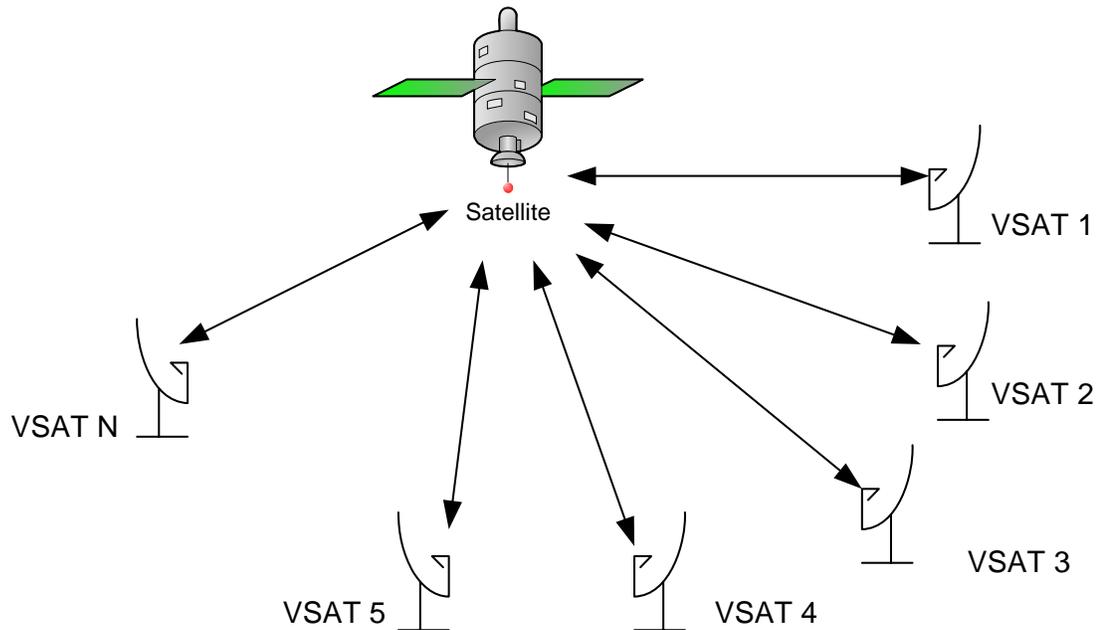


Se habla de redes estrella bidireccionales cuando las aplicaciones requieren que se comuniquen los VSAT's con el HUB y viceversa (existen *inbounds* y *outbounds*).

### **3.7.2.2 Red en malla**

Se puede establecer un enlace directo entre VSAT's, pero se debe de aumentar el tamaño de las antenas o la sensibilidad de los receptores. Se puede establecer una red en malla, pero obviamente cumpliendo con estas características. La red en malla de una red VSAT sería mucho más costosa que una red en estrella. El diagrama se presenta en la figura 28.

**Figura 29. Topología en malla, red VSAT**



Naturalmente con una red en estrella bidireccional se puede implementar una red en malla pura, pero con el problema del retardo, el cual sería el doble debido al inevitable doble salto.

En la actualidad existen todas estas configuraciones. La más usada es la red en estrella bidireccional. La configuración en malla no es demasiado usada debido a la necesidad de mejores VSAT's, con lo que se pierde la principal ventaja de las redes VSAT.

### 3.7.2.3 Redes en estrella de doble salto

Si se necesita la comunicación entre VSAT's y económicamente no es favorable la adquisición de VSAT's para una red en malla por las características de la red en diseño, se puede construir una red "malla" con VSAT's diseñadas para redes en estrella. Esta red nueva se denominaría red en estrella de doble salto, pues sería una red en estrella en donde el nodo central sería el HUB y funcionaría como un repetidor al momento de que dos VSAT's pretendan comunicarse entre sí. El *HUB* entraría como mero repetidor en el que recibe la información de la VSAT origen y se la envía a la VSAT destino.

Se puede visualizar desde ya que una característica primordial de esta red es la inyección de doble retardo a las comunicaciones entre VSAT's en comparación con los retardos inyectados en la comunicación entre VSAT y el *Hub* central. Pero si la aplicación lo permite, éste sería un buen trueque para conservar la economía en el diseño de una red VSAT.

Este tipo de red se presenta con más detalle en el capítulo siguiente, debido a que el sistema de telemedición que se pretende implantar descansa sobre una red satelital VSAT de doble salto.

## **4 TELEMEDIDA A TRAVÉS DE RED SATELITAL DE DOBLE SALTO**

Este capítulo resulta ser la base técnica central de este trabajo, y para el cual se necesita haber repasado los capítulos anteriores que proporcionan la base teórica.

La telemetria que presenta este trabajo se basa en la comunicación por red satelital. Existen otros medios de comunicación que pudieran ser de interés, pero tratarlos sería sobrepasar los alcances de este trabajo final.

### **4.1 Telemetria**

Por dar un concepto de todo el proceso de telemetria al cual se refiere este trabajo de investigación, se podría decir que es el proceso de cuestionar a los medidores instalados en diversos puntos del área de Guatemala con el fin de obtener sus respectivas bases de datos y guardarlos en un lugar central. La información proporcionada por los medidores se utiliza para facturación entre los diferentes integrantes de la negociación de energía en el país.

La medición a distancia, sin embargo, es relativa, ya que la telemetria también se utiliza para obtener información en lugares cercanos pero de acceso difícil, peligroso e incluso imposible. Por ejemplo: probar motores, detectar errores o cambios de comportamiento de sistemas industriales y para obtener datos de instalaciones nucleares.

El equipo utilizado en cualquier sistema de telemetría debe ser capaz de medir una magnitud física, producir una señal que pueda modificarse de alguna manera para transportar los datos medidos y transmitir esa señal codificada por algún tipo de canal de transmisión. El equipo receptor debe ser capaz de decodificar la señal y de mostrarla en algún formato adecuado para su análisis y almacenamiento. Las técnicas de codificación que se utilizan suelen ser digitales.

La telemedida en cuanto a su aplicación posee un campo bastante extenso. En este trabajo se restringirá al estudio de los posibles sistemas de telemedición para los medidores electrónicos ubicados en puntos críticos de compra y venta de energía eléctrica (presentado en el capítulo 2), utilizando como medio de comunicación una red satelital VSAT de doble salto, de la cual se expondrá las características más generales.

## **4.2 Red VSAT de doble salto**

### **4.2.1 ¿Porqué VSAT?**

- a. Ofrece una solución rápida al problema de la última milla, permitiendo un acceso casi inmediato a lugares donde no es posible llegar con otros medios, o donde la calidad de los mismos no es aceptable. El sistema VSAT casi no tiene limitaciones en cuanto al enlace, siempre que exista visibilidad en el emplazamiento entre el satélite y el punto de interés.
- b. Las redes son muy fiables. Se habla de disponibilidad de más del 99.5 % del tiempo.
- c. El despliegue de red es muy rápido.

- d. Permite una alta escalabilidad y una gran modularidad a medida que el sistema va creciendo. Además, permite la reutilización de equipos en otros emplazamientos y facilidad de expansión.
- e. Los actuales sistemas de control y monitoreo de red, basados en entornos gráficos, ofrecen al operador una interfaz amigable, y es una herramienta muy potente con el que se tiene el control de toda la red de forma remota.

#### **4.2.2 Limitaciones de las redes VSAT**

- a. Elevado retardo, imposible de evitar. Esto puede ser un impedimento en función de la aplicación que use el sistema, en especial la red VSAT que se va a utilizar para implantar el sistema de telemedición, la cual es una red en estrella de doble salto.
- b. La inversión inicial es elevada, especialmente si se requiere *HUB*. Para aplicaciones que no justifiquen la inversión en un gran *HUB* central existe la opción del MiniHUB, que básicamente es un *HUB* sin redundancia. Esto abarata bastante los costes.
- c. Es necesario el alquiler del ancho de banda necesario a algún operador de satélites.
- d. Emplazamiento (interferencias, tamaño de antenas, despojamiento, climatología).

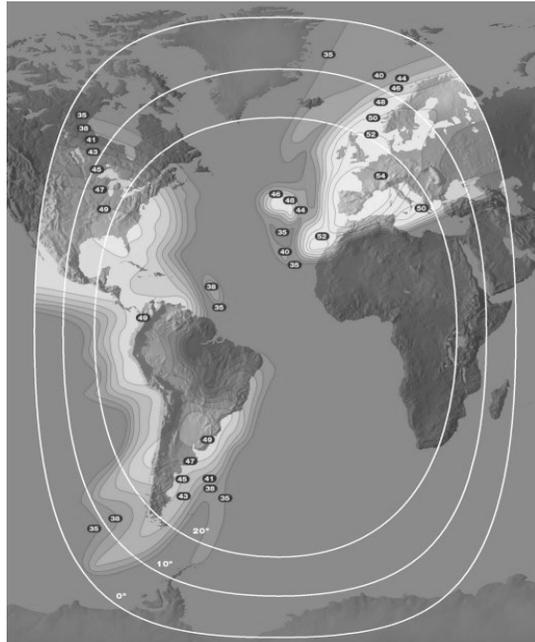
### 4.2.3 Características generales de la red VSAT

Las características más importantes de esta red VSAT son:

- Red ISBN (*Integrated Satellite Business Network*) tecnología Hughes.
- Técnica de multiplexado / acceso: TDM / TDMA.
- Banda utilizada: banda Ku modulación QPSK/OQPSK.
- Topología: estrella de doble salto. Con HUB en España. Esto implica dos sub – redes: España y América.
  - o Subred América:
    - Funcionamiento en doble salto.
    - 1 Outroute QPSK 512 Kbps + 4 Inroutes OQPSK 128 Kpbs, a través de dos transpondedores distintos de Hispasat
    - Requiere estaciones de sincronización.
    - Tiempo de retardo promedio: 2500 ms.
  - o Subred España:
    - Funcionamiento en doble salto o salto simple.
    - 1 Outroute de 512 Kbps + 3 Inroutes de 128 Kpbs, a través de un mismo transpondedor de Hispasat

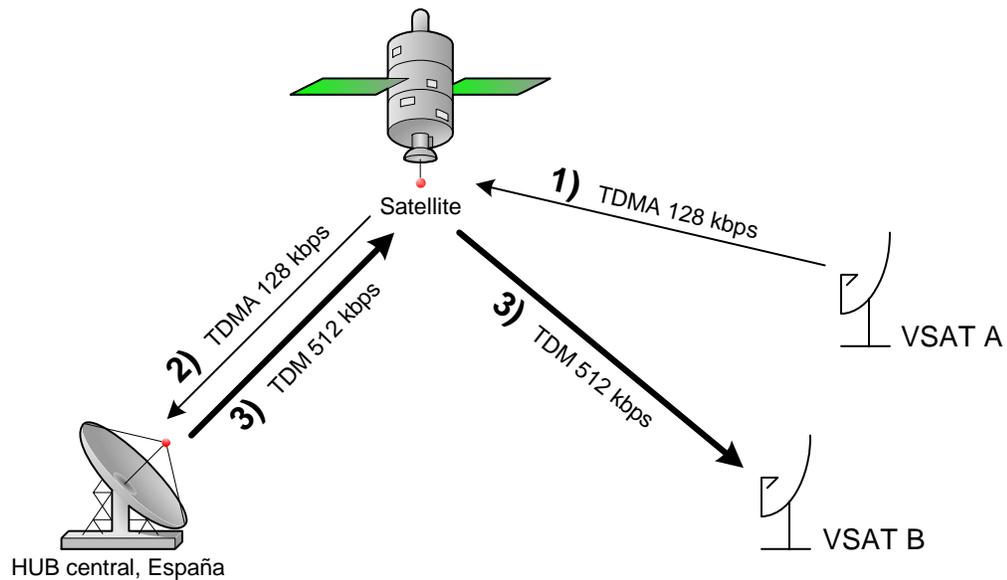
- Estaciones remotas América:
  - o Antena 1,2 m
  - o IDU: 2 puertos asíncronos + 1 puerto Ethernet
  - o ODU: 2 W
  
- Operador: Hispasat
  - o Capacidad:
    - 1,5 MHz Conectividad Europa-Europa Hispasat
    - 1,5 MHz Conectividad Europa-América Hispasat
    - 1 MHz Conectividad América-Europa Hispasat
  
- Equipamiento remoto de sincronización. Son necesarios en la red de América. Se usan para corregir la posible desincronización de la red por la utilización de dos transpondedores unidireccionales para la conectividad transatlántica. No cursan tráfico de usuario y poseen el mismo dimensionamiento que las remotas de tráfico en América.
  
- Huella del satélite. Ésta se presenta en la figura 29, en donde se puede apreciar que el satélite “ve” tanto Guatemala como España. Esto es importante tomarlo en cuenta pues que en España se encuentra el Hub central, esto nos da una idea del tiempo de retardo por ser una red de doble salto.

**Figura 30. Huella Hispasat**



En la figura 30 se presenta un enlace entre dos VSAT de una red en estrella de doble salto. El enlace de una vía entre VSAT A y VSAT B es realizada en 4 tramas. La trama (1) es la solicitud o pregunta que realiza la VSAT A; inicia en la VSAT y termina en el satélite, el cual cambia de frecuencias en el transpondedor y lo reenvía al *Hub* central, trama (2); el *Hub* funciona como repetidor activo y lo vuelve a enviar al satélite, trama (3), éste de nuevo cambia de frecuencias en el transpondedor y luego lo reenvía a la VSAT B, trama (4). Todo este proceso inyecta un tiempo de retardo aproximado de 2500 ms entre cualquier paquete enviado entre VSAT's cuando el HUB funciona como un repetidor. Este tiempo de retardo es la principal desventaja de este tipo de red para la aplicación de la telemedida.

**Figura 31. Enlace VSAT - VSAT**



En estas configuraciones de redes VSAT's, el tiempo de retardo puede variar dependiendo del método de acceso al enlace espacial que se emplee. La red VSAT que se está exponiendo en este trabajo utiliza la reserva transaccional para acceder al enlace espacial. Sin embargo, y para fines de cálculos económicos de utilización de ancho de banda que se verá en el capítulo siguiente, se considera un acceso al enlace espacial "Stream" o por tramas.

En Guatemala, como en cualquier otro país, se necesita una VSAT central en la que se pueda instalar un servidor dedicado a la telemedida. En este caso, la figura 30 se puede generalizar diciendo que la VSAT A sería la estación central de telemedida, de la cual solo habría una; y la VSAT B puede ser cualquier otra VSAT remota, éstas pueden ser N estaciones.

### **4.3 Sistema de telemedida a través de red satelital de doble salto**

Todo lo expuesto hasta este punto ha sido la investigación necesaria y común que se realiza antes de cualquier diseño en donde se pretende implantar un sistema nuevo sobre otro ya existente, ya que la red satelital que se utiliza como escenario lleva otro tráfico ajeno a la telemedida.

Con base en los resultados de la investigación, ahora se puede buscar y analizar cualquier solución propuesta para la telemedición. En este trabajo se analizarán dos protocolos de comunicación para transportar los datos de las mediciones: protocolo TCP/IP y X.25, y la última es de principal interés.

Se dará por entendido que todo lo que se refiera en este capítulo al canal de comunicación para telemedida, se refiere a una red satelital VSAT en doble salto.

#### **4.3.1 Topología de red**

El sistema de telemedida que se propone utiliza la red VSAT como medio de comunicación. Esta red presenta una topología en estrella de doble salto y esto se refleja sobre la topología del sistema de telemedida, es decir que presentará una topología en estrella.

Esta similitud no es coincidencia y tampoco es determinante para el diseño del sistema de telemedición, más bien el mismo sistema determina las características que debe cumplir el medio de comunicación para satisfacer las necesidades del usuario al requerir la información concentrada y dirigida hacia un mismo lugar geográfico.

En el sistema de telemedición que se analizará, la topología de estrella es la conveniente, pues se requiere que en la capital de Guatemala sea recopilada la información brindada por todos los medidores distribuidos en todo el país.

#### **4.3.2 Red X.25**

La primera red que se propone para implantar la telemedida es una red X.25, porque el equipo satelital que se propone como escenario para estas pruebas nos brinda esta opción.

Se puede decir desde un principio que este tipo de sistema nos brindaría algunas ventajas, de las cuales mencionaremos las siguientes:

##### **Ancho de banda**

Es más fácil controlar el ancho de banda que requerirá el sistema de telemedida por tener disponibles los controles de flujo, velocidades de transmisión y tiempos de retardo sujetos a modificaciones en los medidores y los ordenadores de petición.

##### **Independencia de canal**

Esta ventaja se puede obtener dependiendo de la red satelital con que se cuente. Por ejemplo, en el escenario elegido para este diseño, los módems satelitales o IDU's (Unidad interior o por sus siglas en inglés: *In Door Unit*) permiten varios protocolos de comunicación, entre ellos están: X.25, X.3 y TCP/IP. La IDU tiene dos puertos para los protocolos asíncronos ya mencionados y otro puerto para manejar paquetes TCP/IP.

El tener opciones de comunicación por separado permite independizar dos tipos de tráfico. Por un lado, se puede enviar y recibir información por TCP/IP y por otro lado, y al mismo tiempo, bajo otras características de canal recibir y enviar información por X.25 o X.3. La ventaja radica en que se pueden configurar parámetros que solo afectarán al tráfico de la telediagnóstico (velocidad de transmisión, volumen de paquetes, etc.) y serán transparentes al tráfico que cursa en el canal TCP/IP que podría ser bastante crítico, por ejemplo: tráfico de SCADA. Esta ventaja es una de las más importantes a la hora de elegir el tipo de sistema para la telediagnóstico por red satelital, especialmente en un sistema con un tráfico ya existente.

### **Baja tasa de errores**

Por su naturaleza, el X.25 fue diseñado para transmisión de información (voz, datos) en canales de baja capacidad, de ambientes hostiles y con alta probabilidad de error. Este garantiza que los datos que proporciona el receptor estén libres de errores debido al control de flujo implícito al tipo de transmisión. Esta ventaja, propia del X.25, es debido a su diseño original. De hecho, la mayoría por no decir que todas las tecnologías de enlaces satelitales utilizan como plataforma el X.25, aun aquellos módems satelitales que sólo ofrecen interfaz Ethernet con protocolo TCP/IP; la capa de enlace y física es proporcionada a estas tecnologías por el X.25.

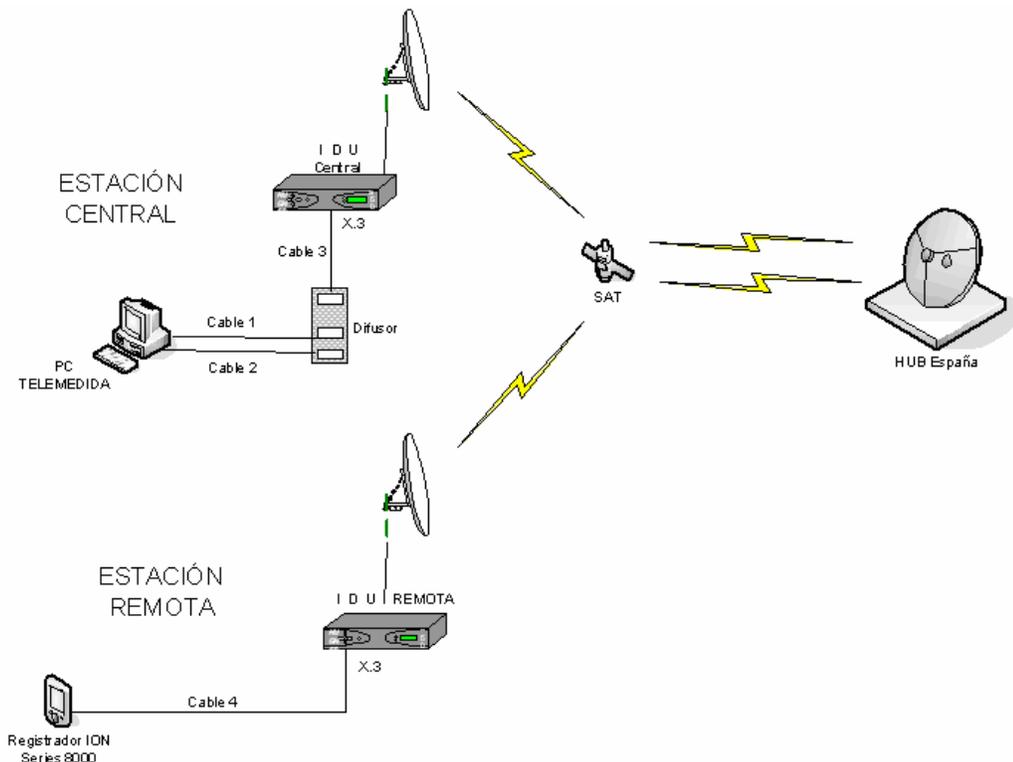
### **Control de accesos**

Orientado al uso del sistema y según el diseño, se puede acceder a un solo medidor a la vez o a múltiples de ellos, pero en cualquier caso se pueden controlar los usuarios que accederán al sistema.

Cualquier ordenador puede acceder al sistema si tiene una conexión física con configuraciones especiales. Sin embargo, si se diseñó para comunicación punto a punto, como el caso de este informe final, sólo un usuario se permitirá a la vez.

Como ya se mencionó, el sistema de telemetria que se presenta en esta sección está basado en X.25. En este punto se puede visualizar un problema: que los medidores y los ordenadores que se utilizarán en este proyecto (y los que se encuentran en la mayoría del mercado hoy en día) no son compatibles con el protocolo X.25, pero sí existe compatibilidad con X.3, por lo cual necesariamente hay que emplear un PAD, esto lo veremos más en detalle en los apartados siguientes.

**Figura 32. Telemetria por red satelital de doble salto en X.3**



El sistema de telemedida que se presenta en la figura 31 se puede expandir según necesidades a N remotas con una sola estación central.

#### **4.3.2.1 Características del sistema propuesto**

##### **Sistema de medición**

Es el sistema al que se pretende acceder remotamente por medio de la telemedida, colocándose de esta manera en el objetivo principal del diseño de este proyecto. Las soluciones aquí propuestas, como ya se ha mencionado, son para acceder a los registradores o medidores en puntos frontera, aunque se podría generalizar tomando algunas consideraciones primero.

Los medidores están interconectados a la IDU remota y para poder acceder remotamente, el registrador o medidor debe cumplir, como mínimo, con las siguientes características:

- Procesamiento electrónico
- Interfase de comunicación serial con estándar RS-232
- Conector DB9 hembra\*
- Puerto configurado como DCE \*
- Configuración de un número de identificación (ID) del puerto de comunicación medidor

- La forma de comunicación entre el medidor y la PC con el programa de aplicación es impulsivo debido al tráfico generado por preguntas y respuestas. El tiempo máximo de espera que pueda soportar entre una respuesta y la próxima pregunta debe de ser por lo menos de 15 segundos configurables. Este parámetro es completamente indispensable para el funcionamiento de la telemedida, pues la red VSAT en doble salto inyecta un retardo aleatorio de algunos segundos entre cada respuesta y la espera de la siguiente pregunta o viceversa.
- Opción para configurar tiempos de retardo entre una pregunta y su respectiva respuesta hasta un máximo de al menos 1 segundo. En otras palabras, que exista la opción de configurar el tiempo en que se va a tardar en contestar a cualquier pregunta.

\* Nota: estas características pueden variar.

### **IDU de remota central**

Las IDU's, tanto central como remota, deben proporcionar la función interna de PAD (empacador/desempacador de paquetes) para que los puertos de salida se puedan configurar en X.3, que es el protocolo necesario entre un PAD y un DTE (en nuestro caso el medidor o el ordenador) para acceder a una red X.25.

Se le denomina IDU de remota central por ser la destinada para la recolección de datos de los medidores, que en el diseño de este proyecto se encuentra en la capital de Guatemala.

Por medio de esta IDU se puede establecer un canal virtual de comunicación por medio de una llamada en X.3 hacia cualquier remota que tenga conectado un medidor electrónico, y de esta manera realizar la descarga de datos.

El puerto de esta IDU debe configurarse de la siguiente manera:

- Puerto configurado en X.3
- Puerto configurado como DCE \*
- Velocidad de transmisión configurables a 9600 kbps\*
- Modo interactivo, que se pueda establecer un canal de comunicación manualmente entre este puerto y el de cualquier otra remota
- Control de módem activado
- Estándar RS-232
- Conector DB25 hembra\*
- Modo de transmisión: reserva transaccional\*

\* Nota: estas características pueden variar.

### **IDU remota**

Se le llama así a la IDU que se encuentra junto al medidor o a unos cuantos metros del medidor y que está conectado al mismo. Esta IDU debe de llevar la misma configuración que la IDU central.

### **PC telemedida**

En esta computadora, el usuario realizará las operaciones necesarias para la descarga de los datos de los distintos medidores. Esta PC debe estar conectada directamente a la IDU de la estación remota central a través de un equipo difusor pasivo. Las características de esta PC son las siguientes:

- Disponibilidad de dos puertos seriales.
- Un software de Hyperterminal y uno para la descarga de datos de los medidores; en este caso, ION SETUP versión 2 de Power Measurement.
- La administración del puerto serial com 1 será asignada para uso del programa de Hyperterminal. Este puerto serial debe configurarse a una velocidad de 9600 Bps, 8 bit de datos, ninguna paridad, bit de parada 1 y ningún control de flujo. Este puerto será el encargado de realizar la llamada en X.3, establecer el canal de comunicación hacia el medidor que se pretende acceder, mantener dicho canal de comunicación y cortar el canal de comunicación cuando se requiera.

- Y la administración del puerto serial de com 2 se asignará al programa de aplicación ION SETUP con los mismos parámetros configurados en el puerto serie com 1. Con este programa se puede acceder al medidor y navegar en su sistema, con este se descargan todos los datos requeridos del medidor. Este es el objetivo primordial de la telemedida.

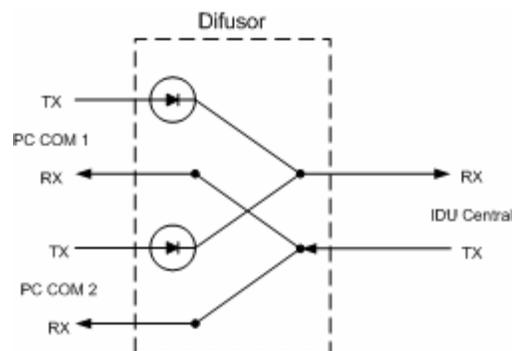
## **Difusor**

Un difusor es un dispositivo para multiplexar puertos seriales con estándar RS-232. De esta manera se puede aumentar el número de puertos físicamente al momento que sea necesario. Las características generales del equipo que se propone en este trabajo son:

- El difusor debe tener dos o más puertos esclavos.
- Todos los conectores del difusor son DB25H.
- El difusor utilizado para esta prueba se comporta como DTE en el puerto maestro y como DCE en los puertos esclavos.
- El puerto maestro debe instalarse en el puerto de la IDU y los puertos esclavos deben conectarse a los puertos de las PC's.
- Este equipo es totalmente pasivo y trabaja en la capa física del modelo OSI.

La combinación del difusor y la gestión de los puertos por cada programa que se citó en PC teled medida son el corazón del funcionamiento de la teled medida punto a punto. Al difusor entran dos cables de comunicación serial: com 1 y 2, y sale de él sólo un canal hacia la IDU. Internamente lo que hace es que los pines de tx y rx de los puertos de la PC están multiplexados físicamente hacia los respectivos pines rx y tx de la IDU. Así el com 1 por gestión del Hyperterminal envía y recibe paquetes de información por estos pines para realizar la llamada y establecer el canal de comunicación, en este momento se utilizan todas las señales físicas del puerto y se mantiene el canal establecido. Una vez se haya establecido el canal virtual, el com 1 ya no enviará información hacia la IDU; en este momento, los pines tx y rx quedan completamente inhabilitados y es momento para que el com 2 entre en función y tome el control de estos pines para enviar y recibir información del medidor. Esto se puede entender con más claridad en la figura 32 en donde los com 1 y 2 se turnan para poder acceder a los pines tx y rx.

**Figura 33 Funcionamiento del difusor**



#### **4.3.2.2 Procedimiento para la telemedición**

Con un programa de Hyperterminal se puede establecer el canal de comunicación desde la PC telemedida en la estación central hacia cualquier estación remota. Hay una dirección diferente para cada remota predefinida por el Hub central. Luego de establecida la comunicación, se utiliza el programa de aplicación para la descarga de los datos como si hubiera un canal dedicado hacia el medidor.

Los procedimientos para establecer el canal de comunicación entre la PC telemedida y un medidor son los siguientes:

- a) Desde la PC Telemedida, se abre una sesión Hyperterminal con la configuración del com 1 ya mencionada. Se realiza una conexión con el icono en la parte superior izquierda.
  
- b) Al momento de presionar el icono de conexión, debe aparecer en el Hyperterminal el siguiente mensaje: CONECTADO A NIVEL FÍSICO. Este mensaje significa que las banderas de nivel físico están levantadas, o sea, las señalizaciones físicas necesarias para atender la llamada están presentes. Con este mensaje, se establece el canal de comunicación.

- c) Para establecer el canal de comunicación, se debe realizar una llamada virtual (VC) desde el Hyperterminal, parecida a una llamada telefónica. En la tecnología Hughes se utiliza el comando CALL XXXXXXXX, en donde XXXXXXXX es el número de canal lógico (LNC) que representa un puerto de alguna IDU remota. Ejemplo: "CALL 4100151". Cuando ya se ha establecido la conexión, después de unos segundos, aparece el mensaje de CONNECTION ESTABLISHED. Este mensaje significa que ya se ha habilitado un canal virtual entre el puerto configurado como X.3 de la IDU central y el puerto en X.3 de la IDU remota. En este paso ya se puede acceder al medidor normalmente como si hubiera un canal físico entre la PC y el medidor.
- d) Ahora se puede arrancar el programa de aplicación "ION SETUP" y acceder al medidor, pues ya se tiene establecida la conexión y el canal está disponible. La forma de navegar dentro del medidor con esta modalidad de comunicación es completamente idéntica a la forma de navegación en comunicación directa. Al finalizar la operación se debe cerrar el programa.
- e) Una vez terminada la descarga y/o la operación dentro del medidor hay que realizar la desconexión pulsando el icono del Hyperterminal de colgar la comunicación. De esta manera, se liberará el canal para una próxima llamada.
- f) Para conectarse con otro medidor, hay que volver a repetir el proceso anterior, de lo contrario se cierra el Hyperterminal.

### **4.3.3 Ethernet**

La segunda red que se propone para implantar la telemedida es una red LAN o Wan de Ethernet, que soporte protocolo TCP/IP. Esta opción también nos la proporciona el mismo equipo satelital que se usa como escenario para este proyecto. Además, esta opción es mucho más común de encontrar en el mercado que el de X.25 que ha tenido un menor auge desde la comercialización del TCP/IP. Sin embargo, el alcance de este trabajo final radica en centralizar los detalles del proyecto en X.25. En TCP/IP se darán los lineamiento generales para obtener un buen patrón de referencia y por haber muchas más fuentes de información de este tipo de tecnología en relación con X.25.

En este sistema también se pueden encontrar algunas ventajas:

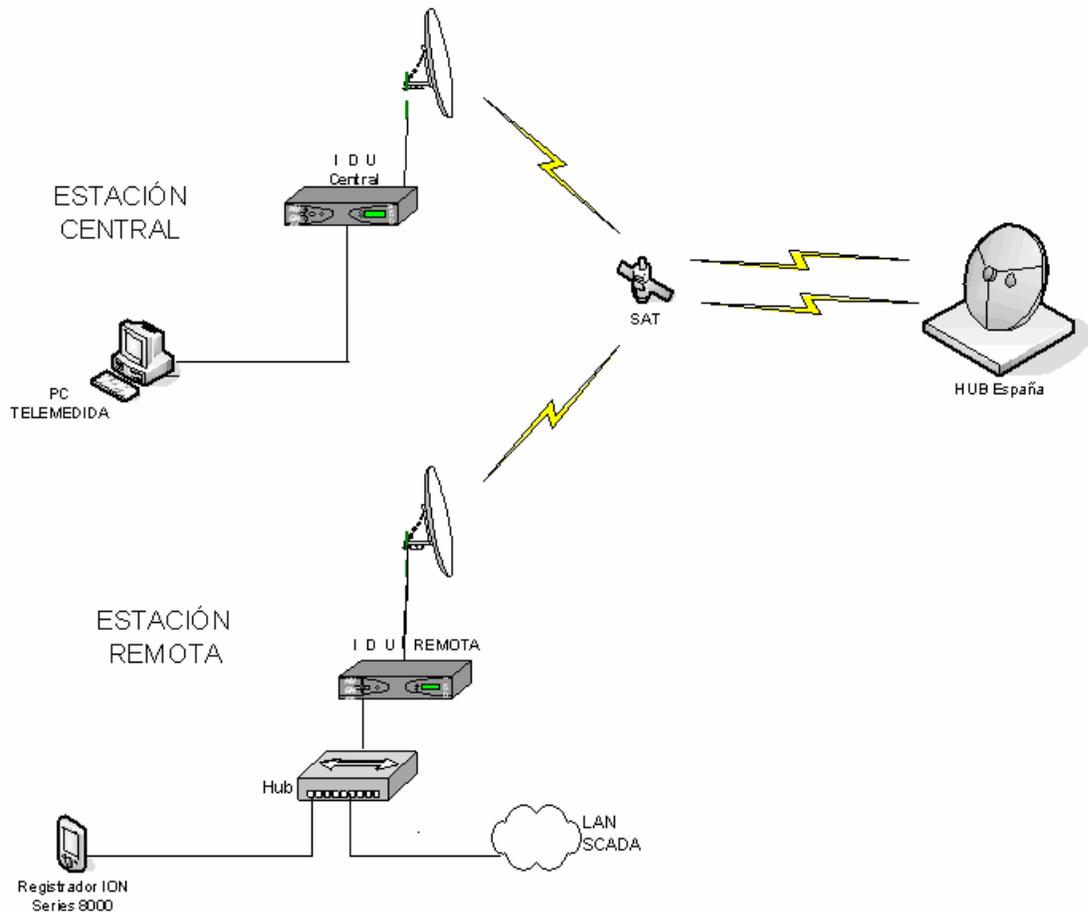
#### **Versatilidad**

El protocolo TCP/IP no define la capa física ni la capa de enlace, lo cual permite transportar esta información sobre todos los medios que sea posible sin problema alguno; en cambio en X.25 sí hay un medio físico y de enlace definido. Esta versatilidad permite también interconectar los equipos a Internet que permiten esta tecnología. De esta manera, se puede tener acceso a los medidores desde cualquier parte del mundo y no restringir el acceso a un área en particular.

## Tecnología de punta

En la actualidad, todos los equipos seguramente poseen en la primera lista de interfaces de comunicación el puerto Ethernet con protocolo TCP/IP. Sin embargo, es de tomar en cuenta que aún existen medidores que no poseen esta tecnología, sólo ofrecen transmisión asíncrona.

**Figura 34 Telemetria por red satelital de doble salto en Ethernet**



En la figura 33 se puede observar el sistema de telemedida por Ethernet que se propone, y al igual que por X.25 se puede expandir según necesidades a N remotas con una sola estación central.

Las características de los medidores y de las IDU's deben ser parecidos a los descritos en X.25, únicamente cambiarían las opciones de interfaz asíncrona a una interfaz Ethernet que soporte protocolo TCP/IP. La PC telemedida deberá poseer en este caso una tarjeta de red Ethernet . Y ahora se hace necesaria la adquisición de un hub, puede ser de capa 1.

El inconveniente principal que se presenta explícitamente en este proyecto es el hecho de que existe tráfico de vital importancia. Esta fue la razón de ser del diseño de la red VSAT en doble salto, esto es: tráfico SCADA. Esto significa que no es conveniente incorporar una posible variable más que pueda introducir algún tipo de error en los datos que trafican la red y son pertenecientes al SCADA. Para minimizar los errores que se puedan introducir por un tráfico extra, se pueden establecer prioridades en las direcciones IP participantes en la red LAN conectada a la IDU remota. De esta manera, se garantiza en un alto porcentaje el tráfico SCADA sobre el tráfico de telemedida.

El funcionamiento de este tipo de sistema es más simple que el presentado en X.25, ya que para la PC telemedida es completamente transparente la red satelital y se accede remotamente a los medidores como si la interconexión PC telemedida–medidor fuese directa. El único parámetro que se verá afectado es el tiempo de retardo inyectado por la red VSAT y las configuraciones de los equipos. Por lo demás, el programa de aplicación puede ingresar directamente al medidor requerido.

## 5 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE INVERSIÓN

### 5.1 Introducción

El análisis de proyectos constituye la técnica matemático-financiera y analítica a través de la cual se determinan los beneficios o pérdidas en los que se puede incurrir al realizar una inversión, en donde uno de sus objetivos es obtener resultados que apoyen la toma de decisiones en lo relacionado con actividades de inversión.

Una de las evaluaciones que deben realizarse para apoyar la toma de decisiones en lo que respecta a la inversión de un proyecto es la que se refiere a la evaluación financiera, que se apoya en el cálculo de los aspectos financieros del proyecto.

El análisis financiero se emplea para comparar dos o más proyectos y para determinar la viabilidad de la inversión de un solo proyecto.

Sus fines son, entre otros:

- a. Identificar la repercusión financiera por el empleo de los recursos monetarios en el proyecto seleccionado.
- b. Calcular las utilidades o pérdidas que se estiman obtener en el futuro, a valores actualizados.

- c. Determinar la tasa de rentabilidad financiera que ha de generar el proyecto a partir del cálculo e igualación de los ingresos con los egresos, a valores actualizados.
- d. Establecer una serie de igualdades numéricas que den resultados positivos o negativos respecto a la inversión de que se trate.

## **5.2 Métodos de evaluación**

Existen diversas técnicas para llevar a cabo los análisis necesarios ante una decisión de inversión. Los métodos preferidos integran los procedimientos de valor en el tiempo para seleccionar los gastos de capital que concuerden con el objetivo de maximizar la riqueza de la empresa.

### **5.2.1 Valor presente neto (VPN)**

El valor presente neto considera de manera explícita el valor del dinero en el tiempo, por lo que se estima como una técnica compleja de preparación de presupuestos de capital. Todas estas técnicas descuentan, de una u otra forma, los flujos de efectivo de la empresa a una tasa específica. Esta tasa (llamada a menudo tasa de descuento, rendimiento requerido, costo de capital o costo de oportunidad) se refiere al rendimiento mínimo que es necesario obtener de un proyecto para que el valor en el mercado de la empresa permanezca sin cambios.

El valor presente neto, como indica la ecuación 5.1, se calcula restando la inversión inicial de un proyecto (I) del valor presente de sus entradas de efectivo (flujo de efectivo) (FE) descontadas a una tasa igual al costo de capital de la empresa (k).

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1+k)^t} - I$$

Ec. 5.1

Con el uso del VPN, tanto las entradas como las salidas se determinan con el valor actual del dinero.

### **Criterio de decisión**

Cuando se utiliza el VPN, el criterio para tomar decisiones de aceptación y rechazo es el siguiente: si el VPN es mayor que 0, se acepta el proyecto. Si el VPN es menor que 0, se rechaza el proyecto. Si el VPN es mayor de 0, la empresa obtendrá un rendimiento mayor que su costo de capital. Dicha acción incrementará el valor de la empresa en el mercado y, por tanto, la riqueza de sus propietarios.

### **5.2.2 Tasa interna de rendimiento (TIR)**

La tasa interna de rendimiento (TIR), aunque es mucho más difícil de calcular a mano que el VPN, es probablemente la técnica compleja de preparación de presupuestos de capital más utilizada. La tasa interna de rendimiento (TIR) es la tasa de descuento que equipara el valor presente de las entradas de efectivo con la inversión inicial de un proyecto. En otras palabras, la TIR es la tasa de descuento que equipara el VPN de una oportunidad de inversión con 0 (porque el valor presente de las entradas de efectivo equivale a la inversión inicial). Matemáticamente, la TIR se calcula resolviendo la ecuación 5.1 para conocer el valor  $k$  que ocasione que el VPN sea igual a 0.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} - II$$

Ec. 5.2

$$\sum_{t=1}^n \frac{FE_t}{(1 + TIR)^t} = II$$

Ec. 5.3

### **Criterio de decisión**

Cuando se utiliza la TIR, el criterio para tomar decisiones de aceptación y rechazo es el siguiente: si la TIR es mayor que el costo de capital, se acepta el proyecto; si la TIR es menor que el costo de capital, se rechaza el proyecto. Este criterio garantiza que la empresa obtenga por lo menos su rendimiento requerido. Un resultado de este tipo mejorará el valor de la empresa en el mercado y, por lo tanto, la riqueza de sus propietarios.

### **5.3 Comparación entre proyectos propuestos**

A continuación se expondrán los dos proyectos para un profundo análisis financiero-estadístico, reconociendo al proyecto 1 como medición actual y al proyecto 2 como teledifusión por red satelital de doble salto.

#### **5.3.1 Medición actual**

El sistema de medición actual, es el sistema de envío y recepción de información más antigua que existe, en donde el canal de comunicación es la persona humana trasladándose por cualquier medio (cielo, mar o tierra) del punto central al punto de interés y trasladar la información en medios de almacenamiento de información electrónica.

Para cubrir la necesidad del escenario de medición que estamos evaluando, se necesitan como mínimo cuatro técnicos entrenados y capacitados para acceder a los medidores, equipados con todo lo necesario (computadoras, lectores ópticos, celulares, vehículos, etc.) y con el objetivo de recopilar la información sin analizarla. También se necesita un supervisor o jefe encargado para coordinar, ordenar, concentrar y analizar la información recopilada. Los cálculos para el análisis financiero se realizarán con base en una muestra de 25 puntos de medición.

### **5.3.2 Telemedida por red satelital de doble salto**

Este es el proyecto que se propone y del cual se ha escrito en todo el informe final de tesis. Ahora nos limitaremos a explicar y calcular los costos necesarios para implantar este proyecto.

En este proyecto ya no se necesitarán los técnicos ni el equipo necesario para la medición en campo, pues la medición se realizará por la red satelital; sin embargo, se sigue requiriendo el jefe o persona encargada de recopilar, analizar y ordenar la información y ahora con un poco más de conocimientos para poder descargar los datos por telemedición. En cambio, con este nuevo proyecto se requerirá de un nuevo equipo para establecer los canales de comunicación por red satelital bajo el mismo supuesto de 25 puntos a telemedir. Al igual que en el proyecto 1, la telemedida también se analizará financieramente. Luego, se realizará una comparación financiera entre los dos proyectos con la finalidad de proporcionar una base sustentada para la elección del proyecto que se va a establecer, esto es, seguir con el tipo de medición actual (proyecto 1) o implantar la telemedida por red satelital de doble salto (proyecto 2).

### 5.3.3 Análisis financiero

#### 5.3.3.1 Proyecto 1

##### a. Flujo de efectivo

Tabla I. Flujo de caja, medición tradicional

EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA EL PROYECTO DE MEDICIÓN ACUTAL					
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Gastos de operación anual</b>					
Inversión inicial	1,258,240.00	1,258,240.00	1,258,240.00	1,258,240.00	1,258,240.00
Sueldos (10%)	212,640.00	212,640.00	233,900.00	233,900.00	257,290.00
Viáticos (5%)	367,200.00	367,200.00	385,560.00	385,560.00	404,838.00
Telefonía celular	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00	14,400.00
Sub-total	594,240.00	594,240.00	633,860.00	633,860.00	676,528.00
<b>Activos fijos</b>					
Automóviles (4)	600,000.00	480,000.00	384,000.00	307,200.00	245,760.00
-Depreciación (20%)	120,000.00	96,000.00	76,800.00	61,440.00	49,150.00
Sub-total	480,000.00	384,000.00	307,200.00	245,760.00	196,610.00
<b>Equipo de red</b>					
PC portátil	48,000.00	32,001.60	21,335.47	14,224.36	9,483.38
-Depreciación (33.33%)	15,998.40	10,666.13	7,111.11	4,740.98	3,160.81
Red de datos	16,000.00	10,667.20	7,111.82	4,741.45	3,161.13
-Depreciación (33.33%)	5,332.80	3,555.38	2,370.37	1,580.33	1,053.60
Sub-total	42,668.80	28,447.29	18,965.81	12,644.50	8,430.09
<b>Total de gastos</b>	<b>1,116,908.80</b>	<b>1,006,687.29</b>	<b>960,025.81</b>	<b>892,264.50</b>	<b>881,568.09</b>
Impuestos brutos	141,331.20	251,552.71	298,214.19	365,975.50	376,671.91
(-) Impuesto 31%	43,812.67	77,981.34	92,446.40	113,452.40	116,768.29
Ingresos brutos después de impuestos	97,518.53	173,571.37	205,767.79	252,523.09	259,903.62
+Depreciación	141,331.20	110,221.51	86,281.48	67,761.30	53,364.41
<b>Ingresos netos</b>	<b>238,849.73</b>	<b>283,792.88</b>	<b>292,049.27</b>	<b>320,284.40</b>	<b>313,268.03</b>

b. Tasa contable simple (TCS) o tasa de renta (TR)

$$TCS = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Inversión}} = \frac{1,448,244.31}{1,258,240.00} = 1.15$$

EC. 5.4

c. Período de recuperación

**Tabla II. Período de recuperación**

Año	Período de recuperación	
1	238,849.73	238,849.73
2	283,792.88	522,642.61
3	292,049.27	814,691.88
4	320,284.40	1,134,976.28
5	313,268.03	1,448,244.31

De la tabla 5.2 se puede deducir con una simple regla de 3 que el tiempo de recuperación de la inversión se encuentra entre el año cuarto y el quinto. El período de recuperación es de 4 años, 4 meses y 21 días.

d. Relación beneficio costo B/C

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Costos}} = \frac{1,448,244.31}{4,857,454.49} = 0.30$$

Ec. 5.5

e. Relación costo beneficio C/B

$$\frac{C}{B} = \frac{VAN_{Entradas}}{InversiónNeta} = \frac{1,284,502.01}{1,258,240.00} = 1.02$$

Ec. 5.6

f. Valor actual neto VAN

**Tabla III. Valor actual neto del proyecto 1**

VALOR ACTUAL NETO 4%			
Años	Ingresos netos	F.VAN 4%	(Ing.net) * (F.Van 4%)
1	238,849.73	0.962	229,773.44
2	283,792.88	0.925	262,508.41
3	292,049.27	0.89	259,923.85
4	320,284.40	0.856	274,163.45
5	313,268.03	0.824	258,132.86
Valor presente de ing.			1,284,502.01
Inversión inicial			1,258,240.00
<b>VAN o VPN</b>			<b>26,262.01</b>

Se encuentra un VAN positivo al evaluar con una tasa del 4%, esto puede apreciarse en la tabla 5.3. En la tabla 5.4 se calcula la tasa adyacente a la encontrada en la tabla 5.3 para obtener un VAN negativo, lo cual nos ayudará a calcular el TIR de este proyecto.

**Tabla IV, VAN/TIR del proyecto 1**

<b>VALOR ACTUAL NETO 5%</b>			
<b>Años</b>	<b>Ingresos netos</b>	<b>F.VAN 5%</b>	<b>(Ing.net) * (F.Van 5%)</b>
1	238,849.73	0.952	227,384.94
2	283,792.88	0.907	257,400.14
3	292,049.27	0.863	224,314.28
4	320,284.40	0.821	262,953.49
5	313,268.03	0.782	244,975.60
Valor presente de ing.			1,217,028.46
Inversión inicial			1,258,240.00
<b>VAN o VPN</b>			<b>(41,211.54)</b>

g. Tasa interna de retorno (TIR)

$$TIR = VAN^1 + (VAN^2 - VAN^1) * \frac{VAN1}{(VAN1 - VAN2)}$$

ec. 5.7

$$TIR = 4 + (5 - 4) * \frac{26,262.01}{(26,262.01 - (-41,211.54))} = 4.39\%$$

ec.5.8

### 5.3.3.2 Proyecto 2

#### a. Flujo de efectivo

**Tabla V. Flujo de caja, telemedida**

AÑOS					
Inversión	1	2	3	4	5
Inversión	Q 1,700,000.00				
AÑOS					
	1	2	3	4	5
Gastos					
Salarios	Q 85,100.00	Q 85,100.00	Q 93,600.00	Q 93,600.00	Q 102,960.00
Agua, luz , tel, alquiler 5% aumento	Q 15,000.00	Q 15,750.00	Q 16,537.50	Q 17,364.38	Q 18,232.59
Sub-total	Q 100,100.00	Q 100,850.00	Q 110,137.50	Q 110,964.38	Q 121,192.59
Activos Fijos					
Mob y equipo	Q 14,000.00	Q 11,200.00	Q 8,960.00	Q 7,168.00	Q 5,735.00
-depreciacion 20%	Q 2,800.00	Q 2,240.00	Q 1,792.00	Q 1,433.00	Q 1,147.00
Suministros 5% aumento	Q 10,000.00	Q 10,500.00	Q 11,025.00	Q 11,576.25	Q 12,155.06
Sub-total	Q 21,200.00	Q 19,460.00	Q 18,193.00	Q 17,311.25	Q 16,743.06
Red					
Computadora	Q 12,000.00	Q 8,600.00	Q 5,734.00	Q 3,823.00	Q 2,549.00
-depreciación 33.33%	Q 3,999.60	Q 2,866.38	Q 1,911.14	Q 1,274.21	Q 849.58
Equipo satelital (25 puntos)	Q 1,000,000.00	Q 666,700.00	Q 444,488.00	Q 296,340.00	Q 197,570.00
-depreciación recuperacion 33.33%	Q 333,300.00	Q 222,211.00	Q 148,148.00	Q 98,770.00	Q 65,850.00
Ancho de banda (25 pts.)	Q 100,000.00	Q 66,670.00	Q 59,264.00	Q 39,511.00	Q 26,342.00
-depreciación recuperacion 33.33%	Q 33,330.00	Q 7,406.00	Q 19,753.00	Q 13,169.00	Q 8,780.00
Mantenimiento anual	Q 90,000.00				
Instalación (red datos)	Q 33,800.00	Q -	Q -	Q -	Q -
Sub-total	Q 865,170.40	Q 599,486.62	Q 429,673.86	Q 316,460.79	Q 240,981.42
Total de gastos	Q 986,470.40	Q 719,796.62	Q 558,004.36	Q 444,736.42	Q 378,917.07
INGRESOS BRUTOS	Q 713,529.60	Q 980,203.38	Q 1,141,995.64	Q 1,255,263.58	Q 1,321,082.93
(-) IMPUESTO 31%	Q 221,194.18	Q 303,863.05	Q 354,018.65	Q 389,131.71	Q 409,535.71
INGRESOS BRUTOS D. DE IMP.	Q 492,335.42	Q 676,340.33	Q 787,976.99	Q 866,131.87	Q 911,547.22
+DEPRECIACIÓN	Q 373,429.60	Q 234,723.38	Q 171,604.14	Q 114,646.21	Q 76,626.58
INGRESOS NETOS	Q 865,765.02	Q 911,063.00	Q 850,891.00	Q 980,778.00	Q 988,174.00

b. Tasa contable simple (TCS) o tasa de renta (TR)

$$TCS = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Inversión}} = \frac{4,596,671.02}{1,700,000.00} = 2.70$$

Ec. 5.8

c. Período de recuperación

**Tabla VI. Período de recuperación, proyecto telemedida**

Años	PERÍODO DE RECUPERACIÓN	
1	865,765.02	865,765.02
2	911,063.00	1,776,828.02
3	850,891.00	2,627,719.02
4	980,778.00	3,608,497.02
5	988,174.00	4,596,671.02

De la tabla 5.6 se puede deducir con una simple regla de 3 que el tiempo de recuperación de la inversión se encuentra entre el año primero y el segundo. El período de recuperación es de 1 año y 11 meses.

d. Relación beneficio costo B/C

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Costos}} = \frac{4,596,671.02}{3,087,924.87} = 1.49$$

Ec. 5.9

e. Relación costo beneficio C/B

$$\frac{C}{B} = \frac{VAN_{Entradas}}{InversiónNeta} = \frac{1,713,627.24}{1,700,000.00} = 1.01$$

Ec. 5.11

f. Valor actual neto VAN

**Tabla VII. Valor actual neto del proyecto 2**

VALOR ACTUAL NETO 4%			
Años	Ingresos netos	F.VAN 4%	V A N 1 (+)
1	865,765.02	0.694	600,840.92
2	911,063.00	0.482	439,132.37
3	850,891.00	0.335	285,048.49
4	980,778.00	0.233	228,521.27
5	988,174.00	0.162	160,084.19
Valor presente de ing.			1,713,627.24
Inversión inicial			<u>1,700,000.00</u>
VAN o VPN			13,627.24

Se encuentra un VAN positivo al evaluar con una tasa del 4%, esto puede apreciarse en la tabla 5.7. En la tabla 5.8 se calcula la tasa adyacente a la encontrada en la tabla 5.8 para obtener un VAN negativo, lo cual nos ayudará a calcular el TIR de este proyecto.

**Tabla VIII. VAN/TIR del proyecto 2**

VALOR ACTUAL NETO 5%			
Años	Ingresos netos	F.VAN 5 %	V A N 1 (+)
1	865,765.02	0.69	597,377.86
2	911,063.00	0.476	433,665.99
3	850,891.00	0.328	279,092.25
4	980,778.00	0.226	221,655.83
5	988,174.00	0.156	154,155.14
Valor presente de ing.			1,685,947.07
Inversión inicial			1,700,000.00
VAN o VPN			(14,052.93)

g. Tasa interna de retorno (TIR)

$$TIR = 44 + (45 - 44) * \frac{13,627.24}{(13,627.24 - (-14,052.93))} = 44.43\%$$

Ec. 512

### 5.3.4 Comparación de proyectos

**Tabla IX. Cuadro comparativo de proyectos**

CUADRO COMPARATIVO DE PROYECTOS		
Concepto	Medición artesanal	Telemedida red satelital
Tasa contable o simple o TR	1.15%	2.70%
Período de recuperación	4 años, 4 meses 21 días	1 año y 1 mes
Relación B/C	0.3	1.49%
Relación C/B	1.02%	1.01%
Valor presente neto (VPN)	Q26,262.00	Q13,627.40
Tasa interna de retorno (TIR)	4.39%	44.43%

Después de realizados los cálculos matemático-estadísticos de ambos proyectos y de tabular los resultados en la tabla 8, se determinó lo siguiente:

- a. **Tasa contable o simple o TR.** Al realizar una comparación de la tasa de retorno (TR) se determinó que mientras el proyecto de medición actual proporciona una relación del 1.15 o sea un 115% de utilidades promedio, el proyecto de telemedida estaría retribuyendo un porcentaje del 270% de utilidades, un 1.55% más que el proyecto actual; esto a lo largo de vida del proyecto.
- b. **Período de recuperación.** El período de recuperación de la inversión del proyecto actual es de 4 años y 4 meses mientras el proyecto de telemedida es de 1 año 11 meses. Esto demuestra que el proyecto de telemedida retribuye la inversión en menor tiempo que el proyecto de medición actual.
- c. **Relación beneficio costo B/C.** Indica que en el proyecto actual o proyecto 1, por cada quetzal invertido la empresa recupera 0.30 centavos, mientras que con el proyecto de telemedida se estaría recuperando 1.49.
- d. **Relación costo beneficio C/B.** Indica que ambos proyectos retribuirían a la riqueza de la empresa un porcentaje similar.

- e. **Valor presente neto (VPN).** El VPN del proyecto actual o proyecto 1 se encuentra en Q.26,262.00, lo cual indica que la empresa percibirá un rendimiento mayor a su costo de capital mientras que en el proyecto de Telemedida su valor presente neto es de Q.13,627.40 mayor a su costo de capital.
  
- f. **Tasa interna de retorno TIR.** El TIR nos demuestra que el porcentaje esperado sobre la inversión en el proyecto actual es del 4.39%, mientras que en el proyecto de Telemedida se espera un retorno del 44.43%.

Al contar con un enfoque general de los dos proyectos, se puede determinar que el proyecto 2 o proyecto de telemedida es un proyecto confiable para invertir. Esta conclusión resulta de analizar tanto la inversión como sus costos de capital, pues éstos demuestran que se encuentran mucho más arriba que el proyecto 1 o medición actual.

Aunque el VAN o VPN sea mayor en el actual proyecto de medición, la tasa de utilización para determinarlo se encuentra por debajo del proyecto de telemedida, por lo cual el inversionista puede invertir con confianza en este proyecto.

### **5.3.5 Ventajas y desventajas entre los dos proyectos**

A lo largo de este trabajo se han expuesto las ventajas de implantar el proyecto de telemedida por red satelital, pero de manera implícita. Ahora se expondrán explícitamente las ventajas en que se incurren con este proyecto.

- a. **Disponibilidad.** Como ya se ha mencionado, con la telemedida se podrán obtener los datos de cualquier medidor colocado en cualquier punto de Guatemala. Pero esto no es lo innovador, pues esto también se puede lograr de otras maneras tal como el envío de personas a recopilar la información. Lo realmente innovador es la disponibilidad que se adquiere con la telemedida al poder descargar los datos de las medidas a cualquier hora del día todos los días de la semana.
  
- b. **Tiempo de respuesta.** Esta característica es una ventaja completamente innovadora, la cual no se puede lograr de otra manera. El tiempo de respuesta o el tiempo que tarda el operador en recopilar los datos de cualquier medidor es de unos cuantos minutos, que es despreciable en comparación a las horas o días que se puede tomar en enviar a una persona a recopilar los datos. Esta característica, junto con la anterior, es la base de la telemedida, ya que se puede obtener, en minutos y las veces necesarias, los datos de cualquier medidor.
  
- c. **Riesgo.** Esta característica es implícita en un sistema de telecomunicación, pues al no depender de desplazamientos de personas, se reducen los riesgos de accidentes y de pérdida de información. Para efectos prácticos de cálculos económicos, las tres características anteriores no se valoran económicamente pues llevarían una significativa ventaja al momento de analizar financieramente entre los dos tipos de medición bajo condiciones similares.

d. **Economía.** Aunque el proyecto de telemedida posea una inversión mucho mayor al inicio en comparación al proyecto de medición actual, el análisis anterior indica que es mucho más rentable invertir en el proyecto de telemedida con toda confianza.

## CONCLUSIONES

- 1) La telemedida en general proporciona bastantes beneficios para los encargados de operación de un sistema, ya que por este medio pueden monitorear constantemente su funcionamiento para que la operatividad esté dentro de los márgenes establecidos como correctos y se eviten riesgos en las personas que se emplearían para realizar la misma labor. Específicamente en el área comercial de energía eléctrica, además de registrar los valores necesarios para la cuantificación económica del paquete comercializado, se proporcionan herramientas útiles para realizar maniobras de balances de ramales, se actúa en función de un complemento del telecontrol y se permite encontrar fallas en un menor tiempo.
  
- 2) La red satelital VSAT de doble salto es conveniente para empresas extendidas en varios países, en donde la huella de un solo satélite cubre los países de interés. Los beneficios radican en el ahorro de la compra y la operatividad de HUB's centrales para cada país. Sin embargo, se sacrifica el doble tiempo de subida y el doble tiempo de bajada de la información por tener que recorrer el doble de espacio en comparación con una red de un solo salto. Siempre y cuando lo permitan técnicamente los sistemas de las empresas, esta red satelital de doble salto es la más aconsejable.

- 3) Para implantar la telemedida en una red eléctrica, los medidores deben ser completamente electrónicos y proporcionar interfaces de comunicación compatibles con los módems satelitales. Las interfaces de comunicación de los medidores deben ser capaces de soportar tiempos de retardo entre tramas enviadas y recibidas de por lo menos 15 segundos para soportar los tiempos de retardos variables inyectados por la red satelital.
  
- 4) Económicamente se puede asegurar que la telemedida por red satelital es más viable en comparación con la medición común y corriente. Esto se puede asegurar aún sin tomar en cuenta aspectos como la disponibilidad, el bajo riesgo y reducción de tiempo de respuesta que proporciona la telemedida por red satelital y que su valorización económica le daría un peso aún mucho mayor.

## RECOMENDACIONES

- 1) La distancia entre los medidores y los módems satelitales debe ser menor a 15 metros. Por el ambiente hostil que presenta una subestación, además del ruido por inducción debido a las líneas de transmisión, el cable debe de ser blindado y con forro para exteriores.
- 2) Si el medidor está a más de 15 metros de distancia y/o si hubieran más medidores a teledir, se podría construir una red RS-485 con convertidores de RS-232/RS-485 en cada medidor y en el módem satelital.
- 3) Antes de implantar una solución con red satelital para la teledir en algún punto, se debe realizar un estudio técnico para proponer soluciones como medios telefónicos, enlaces de FO, enlaces de microonda, etc. porque los enlaces satelitales son más costosos que los terrestres y los complementa no los sustituyen.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1 Freeman, Roger L, **Radio System Design for Telecommunications**. 4ta edición, Estados Unidos: Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1998.
- 2 Freeman, Roger L, **Telecommunications Transmission HandBook**. 4ta edición, Estados Unidos: Editorial John Wiley & Sons, Inc. 1998.
- 3 Herbert, Taub, **Principles of Communication System**. 2da edición. Singapur: Editorial McGraw - Hill Book Company. 759 pp.
- 4 Hernando Bábanos José María, **Transmisión por Radio**. 2da edición. España: Editorial Centro de estudios Ramos Areces, S. A., 1995. 663 pp.
- 5 HNS, **Integrated Satellite Business Network (ISBN\_) Traffic Engineering Guide Release 8.0, 11717 Exploration Lane, Germantown, MD 20876 1028846-0001 Rev. 1. 2000**
- 6 Lawrence J. Gitman, **Administración Financiera**. 8va edición. México: Pearson Educación, 2000. 593 pp.
- 7 Morales Prado Luis Iván, Tesis, Ingeniería Electrónica, Universidad de San Carlos de Guatemala, **“Uso de tecnología satelital para el desarrollo de áreas rurales en el departamento del Quiché”**. 2004.
- 8 Padilla White, Carlos Francisco. Tesis, **“Telemedida, telecontrol y aspectos de protección en un sistema con portadora de línea de potencia”**. 1977
- 9 Tanenbaum, Andrew S., **Redes de Computadoras**. 3ra edición. México: Editorial Prentice may Hispanoamericana, S.A., 1996. 813 pp
- 10 Zamora Abadía, Carlos Roberto. Tesis, **“Enrutadores y puentes: herramientas para la integración y conectividad de redes”**. 1998
- 11 [www.amm.org.gt](http://www.amm.org.gt)
- 12 [www.cnee.gob.gt](http://www.cnee.gob.gt)

13 [www.huges.com](http://www.huges.com)

13 [www.mem.gob.gt](http://www.mem.gob.gt)

14 [www.pwrn.com](http://www.pwrn.com)