



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

**FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y RELACIÓN TÉCNICA EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES**

José Antonio de León Escobar

Asesorado por Ing. Luis Eduardo Durán Córdova

Guatemala, mayo de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y RELACIÓN TÉCNICA EN LA
IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ ANTONIO DE LEÓN ESCOBAR

ASESORADO POR EL ING. LUIS EDUARDO DURÁN CÓRDOVA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez De Loukota
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

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:

FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y RELACIÓN TÉCNICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 14 de febrero de 2006.



José Antonio de León Escobar

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 21 de marzo de 2006

Ing. Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica-Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Solares:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **"Factibilidad económica y relación técnica en la implementación de una red de servicios de telecomunicaciones"**, elaborado por el estudiante José Antonio de León Escobar.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,

Una firma manuscrita en tinta que parece decir "Luis Durán".

Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
Colegiado No. 5362
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 4 de abril 2006.

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
Factibilidad económica y relación técnica en la implementación de una red de servicios de telecomunicaciones, desarrollado por el estudiante; José Antonio de León Escobar por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Área de Electrónica

JCSP/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; José Antonio de León Escobar titulado: **Factibilidad económica y relación técnica en la implementación de una red de servicios de telecomunicaciones**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR

GUATEMALA, 19 DE ABRIL 2,006.



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.134.06

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y RELACIÓN TÉCNICA EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES**, presentado por el estudiante universitario **José Antonio de León Escobar**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, mayo de 2006



/cc

Toda por ti, Carolingia Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación a:

Mi Dios y Padre Porque me ha cuidado y hasta el día de hoy en todo me ha ayudado.

Mis padres Manuel de León y Leticia De de León, por todo su apoyo incondicional y porque sin ellos este logro no podría ser posible.

Mis hermanas Ana Lucía y María Fernanda, por el gran cariño y admiración que les tengo.

Mis abuelos Por todo el cariño y los consejos que me han dado.

Mis tíos y primos Por el cariño y afecto que me demuestran.

Mis amigos Por los momentos agradables que compartimos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

A Vivian Lucía Orozco.

Al Ing. Luis Eduardo Durán Córdova

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
RESUMEN	VIII
OBJETIVOS.....	X
INTRODUCCIÓN	XI
1. FUNDAMENTOS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES	
1.1. Generalidades	1
1.1.1. Definición de redes	2
1.1.2. Objetivos de las redes	2
1.1.3. Aplicaciones de las redes	3
1.2. La red y su estructura	3
1.2.1. Naturaleza de los elementos de red.....	4
1.2.2. Topologías de red	4
1.2.2.1. Topologías en bus y en árbol	5
1.2.2.2. Topología en anillo	6
1.2.2.3. Topologías en estrella	6
1.2.3. Reglas de encaminamiento.....	7
1.2.4. Enrutamiento.....	8
1.3. Clasificación de redes	10
1.3.1. Por su dispersión	10
1.3.1.1. Redes de área local	11
1.3.1.2. Redes de área metropolitana	12
1.3.1.3. Redes de área amplia	13
1.3.1.4. Red global Internet e internets	14

1.3.2.	Por la forma de conmutación	15
1.3.2.1.	Conmutación de circuitos	15
1.3.2.2.	Conmutación de mensajes	15
1.3.2.3.	Conmutación de paquetes	15
1.3.2.4.	Conmutación por división del espacio	16
1.3.2.5.	Conmutación por división de tiempo	16
1.3.3.	Por el medio de transmisión.....	16
1.3.3.1.	Coaxial	17
1.3.3.1.1.	Tipos de cable coaxial	17
1.3.3.2.	Par trenzado.....	18
1.3.3.2.1.	Tipos de cable coaxial	18
1.3.3.3.	Fibra óptica	20
1.3.3.4.	Transmisión inalámbrica	24
1.3.3.4.1.	Microondas.....	26
1.3.3.4.1.1.	Microondas terrestres ..	26
1.3.3.4.1.2.	Microondas satelitales .	26
1.3.3.4.2.	Ondas de Radio	29
1.3.3.4.3.	Infrarrojos	32
1.3.4.	Por el tipo de información.....	33
1.3.4.1.	Red de telefonía fija	33
1.3.4.2.	Red de telefonía móvil.....	33
1.3.4.3.	Red de datos.....	35

2. ASPECTOS TÉCNICOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

2.1.	Tecnología de la red	39
2.1.1.	Características a buscar en la tecnología	39
2.1.1.1.	Escalabilidad	40
2.1.1.2.	Disponibilidad.....	41

2.1.1.3.	Seguridad.....	42
2.1.1.4.	Administración.....	43
2.1.1.5.	Utilidad	44
2.1.1.1.	Adaptabilidad	45
2.1.1.1.	Rentabilidad	46
2.2.	Dimensionado de la red	47
2.2.1.	Introducción	47
2.2.1.1.	Concepto de dimensionado de redes.....	47
2.2.1.2.	Concepto de tráfico-definiciones-unidades	47
2.2.1.3.	Grado de servicio	49
2.2.2.	Métodos para dimensionar redes conmutadas por circuitos	49
2.2.2.1.	Modelos fundamentales	49
2.2.2.2.	Ley de Poisson: distribución exponencial.....	50
2.2.2.3.	Modelo de pérdidas de Erlang	52
2.2.2.3.	Modelo de espera de Erlang	55
2.2.3.	Métodos para dimensionar redes conmutadas por paquetes	58
2.2.3.1.	Generalidades	58
2.2.3.2.	Dimensionado de una red de paquetes.....	59
2.2.3.3.	Modelado de una red de paquetes.....	61
2.3.	Optimización de la red	64
2.3.1.	Modelación	65
2.3.1.1.	Datos de entrada.....	67
2.3.1.2.	Ecuaciones de condición	70
2.3.2.	Algoritmos de resolución	71
2.4.	Predicción y previsión	73
2.4.1.	Plazos para la previsión	74

2.4.2.	Soporte de la predicción	75
2.4.2.1.	Requerimientos básicos	75
2.4.2.2.	Verificación de la previsión	76
2.4.2.3.	Proceso de la previsión	77
3.	CONCEPTOS ECONÓMICOS PARA PLANIFICAR Y DISEÑAR REDES DE TELECOMUNICACIONES	
3.1.	Conceptos de ingeniería económica aplicados al diseño de redes.	79
3.1.1.	Principios para el estudio económico de proyectos	79
3.1.1.1.	Factores de conversión	80
3.1.1.2.	Uso de factores de conversión	81
3.1.2.	Modelo de depreciación de equipo	84
3.1.2.1.	Introducción	84
3.1.2.2.	Depreciación en línea recta (LR)	85
3.1.3.	Flujo de efectivo	87
3.1.4.	Retorno de inversión	87
3.1.4.1.	Cálculo de TR para proyecto único	89
3.1.4.1.1.	Cálculo de la TR utilizando una ecuación de valor presente	90
3.1.4.2.	Evaluación de tasa de retorno para alternativas múltiples de proyectos	92
3.1.4.3.	Determinación de una tasa mínima atractiva de retorno	94
3.2.	Recurso económico y factor tiempo: criterios de optimización	95
3.2.1.	Generalidades	95
3.2.3.	Tipos de modelos	96
3.2.3.1.	Modelos estáticos	97
3.2.3.2.	Modelos dinámicos	99
3.2.3.3.	Modelos a corto plazo	101
3.3.	Proveedores: compra vrs. renta de equipo	102

3.4.	Modelos económicos de redes de telecomunicaciones	105
3.4.1.	Parámetros fundamentales de modelos económicos.....	106
3.4.1.1.	Tipos de costes económicos	106
3.4.1.2.	Tipos de usuarios y servicios	110
3.4.1.3.	Porción del mercado	110
3.4.1.4.	Tecnología del alimentador	111
3.4.1.5.	Gastos de mantenimiento y operación	111
3.4.1.6.	Inversión de infraestructura y equipo	112
3.4.1.7.	Tráfico de otras redes	112
3.4.2.	Modelo económico de telefonía celular.....	113
3.4.3.	Modelo económico de telefonía fija alámbrica	114
3.4.4.	Modelo económico de transmisión de datos	114
3.4.4.1.	Redes privadas	115
3.4.4.2.	Redes públicas	115
3.4.5.	Modelo económico de servicios por demanda	116
3.5.	La convergencia de redes y el efecto en modelos económicos ..	116
3.5.1.	Definición de convergencia de redes	116
3.5.2.	Características de la convergencia de redes	118
3.5.3.	Implicaciones económicas de la convergencia de redes	119
3.5.4.	Nuevos problemas por la convergencia de redes	120
	CONCLUSIONES	123
	RECOMENDACIONES.....	125
	BIBLIOGRAFÍA.....	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Topologías de red.....	5
2.	Tipos de enrutamiento	10
3.	Diferentes modos de propagación de ondas de radio.....	34
4.	Jerarquía de protocolos	38
5.	Ajuste de previsiones contradictorias.....	77
6.	Diagrama de flujo de factores de pago único.....	84
7.	Diagrama de flujo del valor presente de una serie uniforme y de la recuperación de capital.....	84
8.	Diagrama de flujo del fondo de amortización y de la cantidad compuesta de una serie uniforme.....	85
9.	Gráfica del valor en libros de un activo depreciado.....	88
10.	Diagrama de flujo de efectivo del proyecto	90
11.	Flujo de efectivo para el cual debe determinarse un valor de i	93
12.	Relación de los factores para la estimación de TMAR.....	97
13.	Concepto de convergencia de redes	116

TABLAS

I.	Tipos de redes por su dispersión.....	11
II.	Comparación de los medios en comunicaciones guiadas	26

III.	Rangos de frecuencia de la transmisión alámbrica	27
IV.	Características de las bandas en comunicaciones no guiadas	27
V.	Factores económicos	82
VI.	Flujo de efectivo del proyecto	90
VII.	Comparación de características económicas de los dos equipos	95
VIII.	Determinación del flujo de efectivo incremental del proyecto.....	95

RESUMEN

Un estudio técnico y económico previo a la implementación de una red de telecomunicaciones es fundamental, el punto principal a buscar con este estudio es analizar y prever la rentabilidad a obtener al implementar la red de telecomunicaciones.

La tecnología y economía tienen un papel muy importante en este nuevo mercado de telecomunicaciones. Para esto, es necesario conocer los avances tecnológicos recientes, combinados con las normas de regulación del mercado de telecomunicaciones, los cuales han creado un ambiente nuevo y, altamente, competitivo para los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

Las redes que se implementan prestarán un servicio en mayores proporciones a usuarios externos, por lo tanto, el trabajo de ingeniería radica en proponer e implementar proyectos que puedan generar beneficios financieros a los proveedores de servicios que requieran de estudios profesionales.

Con la experiencia actual respecto del mercado de telecomunicaciones se puede decir que el éxito en el negocio de las telecomunicaciones no radica, ni está garantizado, únicamente, por proveer lo último en tecnología al usuario, sino en la competitividad que el proveedor posea.

El enfoque de este trabajo es amplio, cubre la mayoría de los conceptos básicos necesarios para entender la relación entre tecnología y economía. No se busca crear una guía de pasos obligatorios a seguir previo a la implementación de una red, pero sí explorar los puntos importantes a tomar en cuenta.

Este trabajo proveerá características indispensables que deben tener las tecnologías de telecomunicaciones, modelos económicos y la herramienta necesaria de ingeniería económica para analizar la parte económica del proyecto antes de su implementación.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una descripción de los aspectos fundamentales a considerar en la planificación de una red de telecomunicaciones, para encontrar una convergencia técnica y económica, y de este modo, asegurar una decisión acertada.

Específicos

1. Conocer los fundamentos generales teóricos de las redes de telecomunicaciones para conocer el tipo de red que se desea implementar.
2. Investigar los aspectos técnicos más importantes de una tecnología.
3. Describir y analizar los aspectos fundamentales a tomar en cuenta para la planificación económica de una red.
4. Plantear métodos y modelos económicos, para lograr el estudio de la convergencia técnica económica en la planificación final de redes.

INTRODUCCIÓN

Para realizar un proyecto de red de telecomunicaciones, es necesaria una planificación previa, con la cual se pretende la optimización de los recursos técnicos y de las características económicas que proporcionan las diferentes tecnologías posibles a implementar.

Es común que se analice, solamente, uno de los aspectos mencionados, sin embargo, para que se pueda garantizar un proyecto de esta índole, se debe asesorar, profesionalmente, haciendo un análisis exhaustivo de estos puntos.

Con este trabajo de graduación se busca exponer puntos importantes que orienten a personas dedicadas al diseño de redes, acerca de los parámetros fundamentales que se deben tomar en cuenta en la planificación de una red de telecomunicaciones, para alcanzar un proyecto funcional, rentable y que preste la calidad del servicio esperado.

1. FUNDAMENTOS DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

1.1 Generalidades

El mercado de las redes de comunicaciones ha tenido un gran avance en los últimos diez años, debido a diversos hechos tales como el uso generalizado de los protocolos de internet, lo cual ha posibilitado la difusión de servicios como correo electrónico y acceso a *web*; la apertura de la industria a nuevas tecnologías que han conducido a un sistema muy flexible de transmisión de información basado en intercambio de paquetes; y la tecnología de comunicaciones ópticas que ha dado lugar a un incremento en los anchos de banda para las comunicaciones.

Otra área de las redes de comunicaciones que también ha tenido avances increíbles son los servicios de voz, principalmente la telefonía móvil, la cual ha tenido un crecimiento global impresionante en nuestro país en los últimos años. Sin embargo existen otras áreas como la televisión que siguen con un futuro muy prometedor.

La clave del éxito de las redes de las comunicaciones es la necesidad básica de todo ser humano de estar en comunicación con otras personas. Motivo por el cual este mercado se vuelve más importante y complejo con el transcurrir de los años.

1.1.1 Definición de redes

Colección de unidades funcionales interconectadas que proporcionan servicios de comunicación de información entre estaciones conectadas a la red.

Esto con el fin de comunicar dos o más estaciones que no lo pueden hacer directamente porque los dispositivos están muy alejados entre sí y/o porque hay un conjunto de dispositivos que necesitan conectarse entre ellos en instantes de tiempo diferentes.

1.1.2 Objetivos de las redes

El objetivo principal de toda red de comunicaciones es intercambiar información entre dos o más entidades, sin embargo también son importantes:

- Hacer que todos los datos y equipos estén disponibles para cualquiera de la red que así lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario.
- Proporcionar una alta fiabilidad, al contar con fuentes alternativas de suministro.
- Proveer seguridad en la transmisión de la información de una entidad a otra.
- Tratar de mantener siempre un canal alternativo de transmisión para evitar pérdidas de tiempo y tener en espera la información a ser transferida.

1.1.3 Aplicaciones de las redes

Existe una infinidad de aplicaciones para las redes de comunicaciones dependiendo del servicio que presten. Por ejemplo las aplicaciones de una red de computadores (datos) tiene tres aplicaciones principales: el acceso a programas remotos, el acceso a bases de datos remotas y facilidades de comunicación de valor añadido.

En redes de telefonía móvil, debida a la amplia cobertura de señal dentro de un área y ser inalámbrica, nos brindan una variedad de aplicaciones de transmisión de datos sin necesidad de tener una red física instalada y limitada a un área. Esto brinda la posibilidad de transmitir audio, datos e imágenes de una forma segura y práctica.

Todas estas aplicaciones operan sobre redes por razones económicas pues resulta mucho más económico el intercambio de un documento digitalmente a través de una red que el intercambio del mismo a través de medios de transporte terrestre, marino o aéreo y al final el contenido de la información es exactamente el mismo.

1.2 La red y su estructura

La estructura de una red queda perfectamente definida cuando se conocen la naturaleza de sus elementos, la topología de sus nodos, las reglas de encaminamiento, el dimensionado de sus elementos y el enrutamiento de sus vías.

1.2.1 Naturaleza de los elementos de red

Las condiciones operativas de la red, dependen en gran medida de la naturaleza de los elementos que la constituyen. Esta naturaleza está definida por las características fundamentales de los elementos, que pueden ser analógicas o digitales.

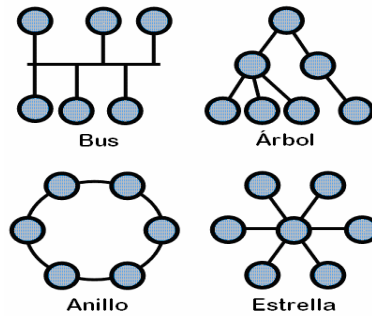
Cuando por la propia naturaleza de los elementos de red se altera la distribución entre los diferentes subsistemas funcionales puede cambiar también la arquitectura de la red. Con ello, soluciones que antes no eran adecuadas, deben ser tenidas en cuenta.

Finalmente, otra de las condiciones que deben contemplarse a la hora de decidir la naturaleza de los diferentes subsistemas funcionales que forman parte de una red, es la posibilidad de implementar nuevos servicios y facilidades con el menor número de inversiones y modificaciones.

1.2.2 Topologías de red

La topología de una red se refiere a la forma que ésta toma al hacer un diagrama del medio físico de transmisión y los dispositivos necesarios para regenerar la señal o manipular el tráfico. Las topologías generales son: bus, árbol, anillo y estrella (Figura 1).

Figura 1. Topologías de red



1.2.2.1 Topologías en bus y en árbol

El bus es un caso especial de la topología en árbol, con un solo tronco y sin ramas. Ambas topologías se caracterizan por el uso de un medio multipunto. En el caso de la topología en bus, todas las estaciones se encuentran directamente conectadas, a través de interfaces físicas apropiadas conocidas como tomas de conexión (*taps*), a un medio de transmisión lineal o bus. El funcionamiento *full-duplex* entre la estación y la toma de conexión permite la transmisión de datos a través del bus y la recepción de éstos desde aquél. Una transmisión desde cualquier estación se propaga a través del medio en ambos sentidos y es recibida por el resto de estaciones. En cada extremo del bus existe un terminador que absorbe las señales, eliminándolas del bus.

La topología en árbol es una generalización de la topología en bus. El medio de transmisión es un cable ramificado sin bucles cerrados, que comienza en un punto conocido como raíz o *cabecera* (*headend*). Uno o más cables comienzan en un punto raíz, y cada uno de ellos puede presentar ramificaciones. Las ramas pueden disponer de ramas adicionales, dando lugar a esquemas más complejos. De nuevo, la transmisión desde una estación se propaga a través del medio y puede alcanzar al resto de estaciones.

1.2.2.2 Topología en anillo

En la topología en anillo, la red consta de un conjunto de *repetidores* unidos por enlaces punto a punto formando un bucle cerrado. El repetidor es un dispositivo relativamente simple, capaz de recibir datos a través del enlace y de transmitirlos, *bit a bit*, a través del otro enlace tan rápido como son recibidos.

Los enlaces son unidireccionales; es decir, los datos se transmiten sólo en un sentido, de modo que éstos circulan alrededor del anillo en el sentido de las agujas del reloj o en el contrario.

Cada estación se conecta a la red mediante un repetidor, transmitiendo los datos hacia la red a través de él.

Como en el caso de las topologías en bus y en árbol, los datos se transmiten en tramas. Una trama que circula por el anillo pasa por las demás estaciones, de modo que la estación de destino reconoce su dirección y copia la trama, mientras ésta la atraviesa, en una memoria temporal local. La trama continúa circulando hasta que alcanza de nuevo la estación origen, donde es eliminada del medio.

1.2.2.3 Topología en estrella

En redes con topología en estrella cada estación está directamente conectada a un nodo central, generalmente a través de dos enlaces punto a punto, una para la transmisión y otro para la recepción.

En general existen dos alternativas para el funcionamiento del nodo central. Una es el funcionamiento en modo de difusión, en el que la transmisión de una trama por parte de una estación se retransmite sobre todos los enlaces de salida del nodo central.

En este caso, aunque la disposición física es una estrella, lógicamente funciona como un bus; una transmisión desde cualquier estación es recibida por el resto de estaciones, y sólo puede transmitir una estación en un instante dado.

Otra aproximación es el funcionamiento del nodo central como dispositivo de conmutación de tramas. Una trama entrante se almacena en el nodo y se retransmite sobre un enlace de salida hacia la estación destino.

1.2.3 Reglas de encaminamiento

Tienen por objeto establecer un orden para las distintas opciones que existen en cada una de las centrales que intervienen o pueden intervenir en la conexión.

Las reglas de encaminamiento para un sistema jerárquico son únicas y muy simples. No necesitan que las centrales intermedias que intervienen en la conexión sepan cosa alguna, ni sobre conexiones previas ni sobre las centrales de destino. Básicamente, son las siguientes:

- Cuando el destino de la conexión corresponde a la misma zona de la central de tránsito que está cursando la conexión entonces la encamina hacia la central de menor categoría correspondiente, siguiendo los pasos que marca la cadena jerárquica.

- Cuando el destino de la conexión es otra zona diferente a la que pertenece la central que esta cursando la conexión entonces la encamina hacia la central de categoría superior hasta alcanzar una central que contiene dicha zona o una de las centrales de mayor jerarquía en la red.
- En la central de nivel más alto de la jerarquía de la red las conexiones van de una cadena a otra.

1.2.4 Enrutamiento

Establece el camino físico que han de seguir los portadores (líneas de postes, cable coaxial enterrado, torres de radioenlace, etc.) que utilizan los sistemas de transmisión para realizar la conexión entre varios centros o centrales de una red.

Sus objetivos son:

- Minimizar los costos de las estaciones.
- Asegurar el servicio ante posibles averías.
- Procurar el mejor aprovechamiento del equipo instalado.

Los costos de transmisión de una ruta pueden expresarse, con bastante aproximación, con la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$\text{Costo} = A \times \text{longitud} + B \times \text{No. de circuitos} + C \times \text{No. de circuitos} \times \text{longitud}$$

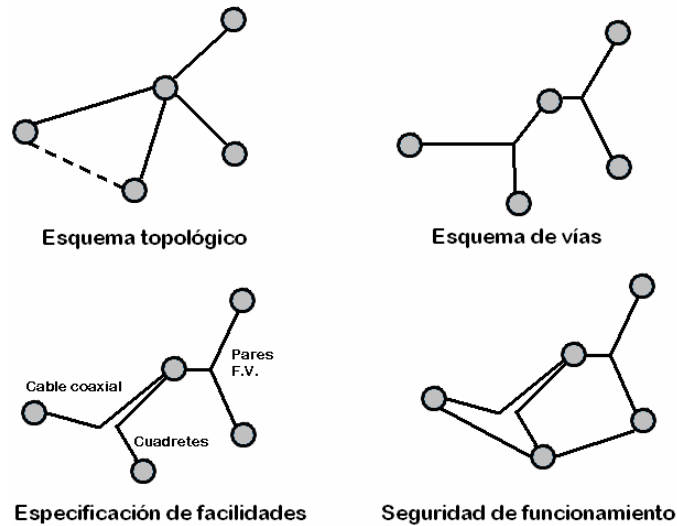
Donde:

- A, representa el coste de establecimiento de la ruta que incluye tanto el coste del portador como las cargas anuales. El portador puede ser hilo desnudo sobre línea de postes, cable coaxial enterrado o canalizado, un radioenlace, etc.
- B, representa el coste de los circuitos terminales y comprende, principalmente, el equipo Terminal multiplex.
- C, es un término que cubre los costes relativos tanto a la longitud de la ruta como al número de circuitos y representa, por tanto los costes del cobre del portador así como de los equipos de línea (repetidores). En caso de tratarse de circuitos en baja frecuencia, el valor de C es significativo dentro de la expresión; en cambio en sistemas multiplex es una pequeña fracción del coste total

El factor B es independiente del enrutamiento, puesto que es función exclusivamente del número de circuitos que se conocen de antemano. Por lo tanto, en una primera aproximación, para optimizar los enrutamientos, se puede considerar sólo la parte que depende del establecimiento de las rutas, que viene reflejado por el término que contiene el factor A y que tiene en cuenta solamente la longitud de las rutas.

La figura 2 contiene cuatro gráficos. El primero de ellos representa la relación topológica de las cinco centrales. El segundo expresa el enrutamiento óptimo de las vías, en el mismo, se ha minimizado la longitud de todas las rutas. El tercero, indica el tipo de portador.

Figura 2. Tipos de enrutamiento



También, a veces es interesante ofrecer la posibilidad que el servicio no se vea interrumpido entre dos centros o centrales ante una avería en alguno de los sistemas de transmisión o portador que los enlazan. Para ello, se diversifica el trazado de las rutas procurando naturalmente seguir minimizando los costos de la red, considerando esta nueva limitación. Dicha circunstancia viene apoyada por el concepto teórico de la conectividad. El orden de conectividad de una red es el número de cortes que es preciso dar a sus mallas para aislar dos centros cualesquiera.

1.3 Clasificación de redes

1.3.1 Por su dispersión

Al crear una red, se toman en cuenta dos factores principales: el medio físico de transmisión y las reglas que rigen la transmisión de datos. Al primer factor le llamamos nivel físico y al segundo protocolos.

En el nivel físico generalmente encontramos señales de voltaje que tienen un significado preconcebido. Esas señales se agrupan e interpretan para formar entidades llamadas paquetes de datos. La forma como se accedan esos paquetes determinan la tecnología de transmisión y se aceptan dos tipos: "*broadcast*" y "*point-to-point*".

Las redes de tipo "*broadcast*" se caracterizan porque todos los miembros (nodos) pueden acceder todos los paquetes que circulan por el medio de transmisión. Las redes punto a punto sólo permiten que un nodo se conecte a otro en un momento dado.

Por la extensión de las redes "*broadcast*" o "punto a punto", podemos clasificarlas de acuerdo a la tabla siguiente.

Tabla I. Tipos de redes por su dispersión

Distancia / CPU's		Ubicación de CPU's	Nombre
0.1	Mts.	Tarjeta Madre	Nodo
1	Mts.	Cluster, Sistema	Multicomputador
10	Mts.	Sala de Cómputo	LAN
100	Mts	Edificio	LAN
1	Km.	Campus	LAN
10	Km.	Ciudad	MAN
100	Km.	Estado, País	WAN
1000	Km	Continente	WAN
10,000	Km	Planeta	INTERNET

1.3.1.1 Redes de área local (LAN)

Las redes de área local son el punto de contacto de los usuarios finales. Su finalidad principal es la de intercambiar información entre grupos de trabajo y compartir recursos tales como impresoras y discos duros.

Su extensión va de unos cuantos metros hasta algunos kilómetros. Esto permite unir nodos que se encuentran en una misma sala de cómputo, en un edificio, en un campus o una empresa mediana y grande ubicada en una misma locación.

Las redes tradicionales operan con medios de transmisión tales como cable de par trenzado (*Unshielded Twisted Pair*), cables coaxial (ya casi obsoleto porque presenta muchos problemas), fibra óptica (inmune a la mayoría de interferencias), portadoras de rayo infrarrojo o láser, radio y microondas en frecuencias no comerciales. Las velocidades en las redes de área local van desde 10 Megabits por segundo (Mbps) hasta 622 Mbps.

1.3.1.2 Redes de área metropolitana (MAN)

Una red de área metropolitana es una versión más grande de una LAN en cuanto a topología, protocolos y medios de transmisión que abarca tal vez a un conjunto de oficinas corporativas o empresas en una ciudad. Las redes deservicio de televisión por cable se pueden considerar como MANs y, en general, a cualquier red de datos, voz o video con una extensión de una a varias decenas de kilómetros. El estándar IEEE 802.6 define un tipo de MAN llamado DQDB por sus siglas en inglés *Distributed Queue Dual Bus*. Este estándar usa dos cables *half-duplex* por los cuales se recibe y transmiten voz y datos entre un conjunto de nodos.

1.3.1.3 Redes de área amplia (WAN)

Una red de área amplia se expande en una zona geográfica de un país o continente. Los beneficiarios de estas redes son los que se ubican en nodos finales llamados también sistemas finales que corren aplicaciones de usuario (por ejemplo, algún procesador de palabras o un navegador de WWW). A la infraestructura que une los nodos de usuarios se le llama subred y abarca diversos aparatos de red (denominados en general como *routers* o enrutadores) y líneas de comunicación que une a las redes de área local. El término de subred también se aplica a una técnica para optimizar el tráfico en una red de área local de tamaño medio.

En la mayoría de las redes de área amplia se utilizan una gran variedad de medios de transmisión para cubrir grandes distancias. La transmisión puede efectuarse por microondas, por cable de cobre, fibra óptica o alguna combinación de los anteriores. Sin importar el medio, los datos en algún punto se convierten e interpretan como una secuencia de unos y ceros para formar marcos de información (*frames*), luego estos *frames* son ensamblados para formar paquetes y los paquetes a su vez construyen archivos o registros específicos de alguna aplicación.

Las redes clásicas se caracterizan porque utilizan *routers* para unir las diferentes LANs. Como en este caso los paquetes viajan de LAN en LAN a través de ciertas rutas que los *routers* establecen, siendo dichos paquetes almacenados temporalmente en cada *router*, a la subred que usa este principio se le conoce como punto-a-punto, almacena-y-envía o de enrutado de paquetes (*point-to-point, store-and-forward, packet-switched*).

Las topologías comunes en una red punto a punto son: de estrella, anillo, árbol, completa, anillo intersecado e irregular.

La posibilidad de usar el aire como medio de transmisión nos da lugar a las redes inalámbricas. Se pueden construir usando estaciones de radio o satélites que envían ondas a diferentes frecuencias para enlazar los correspondientes enrutadores. Como el alcance de estas ondas no puede ser restringido en un cierto radio, se deben tomar algunas medidas especiales para no entrar en conflicto con otras ondas y para restringir el acceso.

1.3.1.4 Red global internet e internets

La red Internet es aquella que se ha derivado de un proyecto del departamento de defensa de Estados Unidos y que ahora es accesible desde más de 2 millones de nodos en todo el mundo, y cuyos servicios típicos son las conexiones con emulación de terminal telnet, la transferencia de archivos ftp, el W W W, el correo electrónico, los foros de información globales NetNEWS.

Por otro lado, se consideran como internets (con la letra "i" minúscula) a aquellas redes públicas o privadas que se expanden por todo el mundo. El asunto interesante es que estas internets pueden valerse del Internet en algunos tramos para cubrir el mundo. La restricción mayor para que una red privada se expanda en el mundo usando Internet es que puede verse atacada por usuarios del Internet. Un esquema de seguridad para este caso puede ser que, para las LANs que conforman la internet privada, cada una de ellas encripte su información antes de introducirla a Internet y se decodifique en las LANs destinos, previo intercambio de las claves o llaves de decodificación. Este tipo de esquemas se pueden lograr con el uso de *firewalls*.

1.3.2 Por la forma de conmutación

1.3.2.1 Conmutación de circuitos

En las redes de conmutación de circuitos se establece a través de los nodos de la red un camino dedicado a la interconexión de dos estaciones. El camino es una secuencia conectada de enlaces físicos entre nodos. En cada enlace, se dedica un canal lógico a cada conexión. Los datos generados por la estación fuente se transmiten por el camino dedicado tan rápido como se pueda. En cada nodo, los datos se encaminan o conmutan por el canal apropiado de salida sin retardos. El ejemplo más ilustrativo de la conmutación de circuitos es la red telefónica.

1.3.2.2 Conmutación de mensajes

Método de transmisión de mensajes a través de una red de comunicación, en la que en cualquier tiempo en particular, no es necesaria una conexión completa ya que el mensaje es enviado al centro de conmutación más próximo y es almacenado en su búfer esperando hasta que la línea al siguiente centro de conmutación no esté siendo utilizada o no esté siendo utilizado por mensajes con mayor prioridad, y así sucesivamente hasta llegar a su punto de destino.

1.3.2.3 Conmutación de paquetes

Un enfoque diferente al anterior es el adoptado en redes de conmutación de paquetes. En este caso, no es necesario hacer una reserva por prioridades de recursos (capacidad de transmisión) en el camino (o sucesión de nodos). Por el contrario, los datos se envían en secuencias de pequeñas unidades llamadas paquetes.

Cada paquete se pasa de nodo a nodo en la red siguiendo algún camino entre la estación origen y la destino. En cada nodo, el paquete se recibe completamente, se almacena durante un intervalo breve y posteriormente se transmite al siguiente nodo. Las redes de conmutación de paquetes se usan fundamentalmente para comunicaciones terminal-computador y computador-computador.

1.3.2.4 Conmutación por división del espacio

Técnica de conmutación de circuitos en la que cada conexión a través del conmutador toma un camino físicamente separado y exclusivo.

1.3.2.5 Conmutación por división del tiempo

Técnica de conmutación de circuitos en la que los intervalos de tiempo asignados a un flujo de datos multiplexado se corresponden con el paso de los mismos de la entrada a la salida.

1.3.3 Por el medio de transmisión

Los medios de transmisión son el componente básico de toda red de telecomunicaciones. Existen diferentes tipos. La elección de uno respecto a otro depende del ancho de banda necesario, las distancias existentes y el costo.

Cada medio de transmisión tiene sus ventajas e inconvenientes; no existe un tipo ideal.

Las principales diferencias entre los distintos tipos radican en la anchura de banda permitida y consecuentemente en el rendimiento máximo de transmisión, su grado de inmunidad frente a interferencias electromagnéticas y la relación entre la amortiguación de la señal y la distancia recorrida.

1.3.3.1 Coaxial

Este tipo de cable esta compuesto de un hilo conductor central de cobre rodeado por una malla de hilos de cobre. El espacio entre el hilo y la malla lo ocupa un conducto de plástico que separa los dos conductores y mantiene las propiedades eléctricas. Todo el cable está cubierto por un aislamiento de protección para reducir las emisiones eléctricas. El ejemplo más común de este tipo de cables es el coaxial de televisión.

Originalmente fue el cable más utilizado en las redes locales debido a su alta capacidad y resistencia a las interferencias, pero en la actualidad su uso está en declive.

Su mayor defecto es su grosor, el cual limita su utilización en pequeños conductos eléctricos y en ángulos muy agudos.

1.3.3.1.1 Tipos de cable coaxial

- **THICK (grueso).** Conocido normalmente como "cable amarillo", fue el cable coaxial utilizado en la mayoría de las redes. Su capacidad en términos de velocidad y distancia es grande, pero el costo del cableado es alto y su grosor no permite su utilización en canalizaciones con demasiados cables. Este cable es empleado en las redes de área local con la norma 10 Base 5.

- **THIN (fino).** Este cable se empezó a utilizar para reducir el costo de cableado de la redes. Su limitación está en la distancia máxima que puede alcanzar un tramo de red sin regeneración de la señal. Sin embargo el cable es mucho más barato y fino que el *thick* por lo tanto, solventa algunas de las desventajas del cable grueso. Este cable es empleado en las redes de área local con la norma 10 Base 2.

El cable coaxial en general solo se puede utilizar en conexiones Punto a Punto o dentro de los *racks*.

1.3.3.2 Par trenzado

Es el tipo de cable más común y se originó como solución para conectar teléfonos, terminales y ordenadores sobre el mismo cableado. Cada cable de este tipo está compuesto por una serie de pares de cables trenzados. Los pares se trenzan para reducir la interferencia entre pares adyacentes. Normalmente una serie de pares se agrupan en una única funda de color codificado para reducir el número de cables físicos que se introducen en un conducto.

El número de pares por cable son 4, 25, 50, 100, 200 y 300. Cuando el número de pares es superior a 4 se habla de cables multipar.

1.3.3.2.1 Tipos de cable trenzado

- **No apantallado (UTP).** Es el cable de par trenzado normal y se le referencia por sus siglas en inglés UTP (Par Trenzado no Apantallado). Las mayores ventajas de este tipo de cable son su bajo costo y su facilidad de manejo.

Sus mayores desventajas son su mayor tasa de error con respecto a otros tipos de cable, así como sus limitaciones para trabajar a grandes distancias sin regeneración. Para las distintas tecnologías de red local, el cable de pares de cobre no apantallado se ha convertido en el sistema de cableado más ampliamente utilizado. Este tipo de cable es el idóneo para las comunicaciones telefónicas, pero las velocidades requeridas hoy en día por las redes necesitan mejor calidad. Los servicios soportados por este tipo de cable incluyen:

- Red de Área Local ISO 8802.3 (Ethernet) y ISO 8802.5 (*Token Ring*)
 - Telefonía analógica y digital
 - Terminales síncronos y asíncronos
 - Líneas de control y alarmas
-
- **Apantallado (STP).** Cada par se cubre con una malla metálica, de la misma forma que los cables coaxiales, y el conjunto de pares se recubre con una lámina apantallante. Se referencia con sus siglas en inglés STP (*Shield Twisted Pair / Par Trenzado Apantallado*). La lámina apantallante reduce la tasa de error, pero incrementa el costo al requerirse un proceso de fabricación más costoso.
-
- **Uniforme (FTP).** Cada uno de los pares es trenzado uniformemente durante su creación. Esto elimina la mayoría de las interferencias entre cables y además protege al conjunto de los cables de interferencias exteriores. Se realiza un apantallamiento global de todos los pares mediante una lámina externa apantallante. Esta técnica permite tener características similares al cable apantallado con unos costos por metro ligeramente inferior. Este es usado dentro de la categoría 5 y 5e (Hasta 100 Mhz).

1.3.3.3 Fibra óptica

Hoy en día es espectacular la forma en que la fibra óptica ha ganado terreno en el área de las telecomunicaciones, esto debido a la capacidad de transmitir grandes cantidades de información con mínimas pérdidas o requerimientos de potencia. Las fibras ópticas son guías de luz que tienen el grosor de un cabello humano, y poseen la capacidad de transmitir a grandes distancias, por su característica de mínima pérdida de potencia durante la transmisión de una señal. Transportan la información por medio de ondas luminosas y no mediante electricidad, lo que evita la interferencia de ruido eléctrico y degradación de la señal. La fibra óptica es un filamento de plástico o cristal de alta pureza constituido por dos cilindros concéntricos con índices de refracción distintos; siendo el índice de refracción la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en otro medio. Dicho índice de refracción es una propiedad característica de cada medio.

Ecuación 2

$$\eta = \frac{C}{u}$$

η = Índice de refracción

C = Velocidad de la luz en el vacío

u = Velocidad de la luz en el medio

Gracias a fenómenos ópticos, la fibra es capaz de transportar información empleando señales luminosas. Por lo general, las transmisiones se realizan con rayos infrarrojos aunque existen transmisores en el rango de la luz visible conocidos como *LEDs*.

Las fibras ópticas han sustituido completamente a los cables coaxiales que, a diferencia de las fibras, transportan electricidad por un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por varias capas de materiales como lo son un dieléctrico, una malla metálica y, finalmente, un material plástico que sirve de protección. El material dieléctrico define, en gran medida, la velocidad de transmisión que un coaxial alcanza.

Para el usuario, un beneficio notorio del uso de las fibras ópticas en las comunicaciones telefónicas intercontinentales, fue la desaparición en 1988, del tiempo muerto de 0,4 segundos, debido a los enlaces vía satélite. Sin embargo, la real explotación de las fibras ópticas está todavía en camino.

Las investigaciones enfocadas a crear dispositivos ópticos con posibilidad de conformar una red 100% óptica continúan. La intención es aprovechar aún más las bondades de las fibras ópticas. Uno de los logros en cuanto a este tema, es el amplificador de fibra dopada con erbio.

Por su parte, los amplificadores de fibra dopada con erbio, agrandan la señal sin necesidad de realizar conversiones ópticas a eléctricas, lo cual hace posible que se amplifiquen de manera simultánea todas las señales con diferentes longitudes de onda que viajen en el interior de la fibra.

En la fibra dopada con erbio, el factor de amplificación es insensible a la polarización de la señal incidente (la polarización caracteriza la dirección en la que vibra el campo eléctrico asociado a la onda luminosa). Este es un hecho esencial, ya que el estado de polarización de las señales se modifica de forma aleatoria a medida que se propagan por la fibra. Además, el amplificador no deforma las señales, las amplifica idénticas. Esta propiedad subsiste en condiciones extremas de funcionamiento.

Por ejemplo, con una potencia de entrada demasiado elevada, disminuye la ganancia pero la señal no se distorsiona, a diferencia del caso de los amplificadores electrónicos.

A estos beneficios (insensibilidad a la polarización y ausencia de distorsión), se añaden la compatibilidad con las fibras estándar (sin reflexiones parásitas), las escasas pérdidas en las conexiones, el ruido mínimo, la insensibilidad a la temperatura entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Según las aplicaciones, la zona de ganancia explotable alrededor de la longitud de onda de $1,5\text{ }\mu\text{m}$ se extiende de 100 a 3.000 GHz.

Para aumentar la cantidad de información transportada en las fibras ópticas, esto es, el aumento del caudal, se usan la técnica de multiplexado y de conmutación. El multiplexado consiste en transportar por un mismo medio físico. La conmutación es una operación de direccionamiento a nivel de la red global, por lo que cada destinatario recibe al final de la línea, la información que se le envía. Una de las técnicas de multiplexado óptico actuales se conoce como WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), que consiste en enviar varias señales luminosas de diferentes longitudes de onda, simultáneamente, por la misma fibra.

La técnica de multiplexación densa en longitud de onda DWDM (*Dense Wave Division Multiplexing*) se basa en la existencia de ciertos rayos láser que disparan bandas múltiples de luz a través de una sola fibra óptica, cada banda de luz tiene su propio color (longitud de onda) diferente a las demás.

La diferencia entre las redes de comunicaciones basadas en cobre y las redes diseñadas con cables de fibra óptica son enormes. Por ejemplo, si con el cobre se pueden transmitir 14 mil 400 conversaciones telefónicas a la vez, la fibra óptica permite, simultáneamente, hasta tres millones y medio de llamadas sin interferencias eléctricas ni de radio. Sin embargo, a pesar de estas múltiples ventajas, la penetración del cable de fibra óptica en última milla es todavía muy escasa, ya que hace falta desplegar una infraestructura que requiere tiempo e importantes inversiones, las cuales no se recuperarán rápidamente, lo que hace que muchas empresas del ramo, no se decidan a invertir en estos cambios tecnológicos.

Ahora bien, lo que está claro, es que conforme se logren avances respecto a procesadores, filtros y dispositivos de almacenamiento que operen bajo un esquema 100% óptico, las comunicaciones y los servicios que éstas proporcionan se verán revolucionados y la inversión en cuanto a la tecnología óptica será millonaria. La implementación de esta tecnología permitirá nuevas oportunidades de negocio: muchas empresas con poco capital podrán desarrollar nuevos servicios que lleguen a millones de personas, todo esto gracias a los desarrollos en las tecnologías para la implementación de redes ópticas.

Tabla II. Comparación de los medios en comunicaciones guiadas

	UTP	STP	COAXIAL	FIBRA OPTICA
Tecnología ampliamente probada	Si	Si	Si	Si
Ancho de banda	Medio	Medio	Alto	Muy alto
Hasta 1 Mhz.	Si	Si	Si	Si
Hasta 10 Mhz.	Si	Si	Si	Si
Hasta 20 Mhz.	Si	Si	Si	Si
Hasta 100 Mhz.	Si	Si	Si	Si
Canales de video	No	No	Si	Si
Canal Full Dúplex	Si	Si	Si	Si
Distancias Medias	100 m. 65 Mhz.	100 m. 67 Mhz.	500 (Ethernet)	2 km. (Multimodo) 100 km. (Monomodo)
Inmunidad Electromagnética	Limitada	Media	Media	Alta
Seguridad	Baja	Baja	Media	Alta
Coste	Bajo	Medio	Medio	Alto

1.3.3.4 Transmisión inalámbrica

En este tipo de redes, tanto la transmisión como la recepción se llevan a cabo mediante antenas. En la transmisión, la antena radia energía electromagnética en el medio (normalmente el aire), y en la recepción la antena capta las ondas electromagnéticas del medio que la rodea.

Hay dos configuraciones para la emisión y recepción de esta energía: direccional y omnidireccional. En la direccional, la antena de transmisión emite toda la energía concentrándola en un haz que es emitido en una cierta dirección, por lo que tanto las antenas el emisor como el receptor deben estar perfectamente alineados. En el método omnidireccional, la antena emite la radiación de la energía dispersadamente (en múltiples direcciones), por lo que varias antenas pueden captarla.

Cuanto mayor es la frecuencia de la señal a transmitir, más factible es confinar la energía en un haz direccional (la transmisión unidireccional).

En el estudio de las comunicaciones inalámbricas, se van a considerar tres rangos de frecuencias.

Tabla III. Rangos de frecuencia de la transmisión inalámbrica

TRANSMISIÓN INALÁMBRICA	BANDA
Radio Frecuencia	10 KHz a 300 Mhz
Micro Ondas	300 Mhz a 300 Ghz
Infra Rojo	300 Ghz a 400 Thz

En la tabla se resumen las características de transmisión en medios no confinados para las distintas bandas de frecuencia. Las microondas cubren parte de la banda de UHF y cubren totalmente la banda SHF; la banda de ondas de radio cubre la VHF y parte de la banda UHF.

Tabla IV. Características de las bandas en comunicaciones no guiadas

Banda de frecuencia	Nombre	Datos analógicos		Datos digitales		Aplicaciones principales
		Modulación	Ancho de banda	Modulación	Razón de datos	
30-300 KHz	LF	Normalmente no se usa		ASK, FSK, MSK	0.1-100 bps	Navegación
300-3000 KHz	MF	AM	Hasta 4KHz	ASK, FSK, MSK	10-1000 bps	Radio AM comercial
3-30 MHz	HF	AM, SSB	Hasta 4KHz	ASK, FSK, MSK	10-3000 bps	Radio de onda corta Radio CB
30-300 MHz	VHF	FM, SSB	5 KHz a 5 MHz	FSK, PSK	Hasta 100 Kbps	Televisión VHF Radio FM
300-3000 MHz	UHF	FM, SSB	Hasta 20 MHz	PSK	Hasta 10 Mbps	Televisión UHF Microondas terrestres
3-30 GHz	SHF	FM	Hasta 500 MHz	PSK	Hasta 100 Mbps	Microondas terrestres Microondas por satélite

1.3.3.4.1 Microondas

1.3.3.4.1.1 Microondas terrestres

En estas frecuencias de trabajo se pueden conseguir haces altamente direccionales, por lo que las microondas son adecuadas para enlaces punto a punto. Suelen utilizarse antenas parabólicas. El tamaño típico es de diámetro de unos 3mts. Estas antenas se fijan rígidamente, y trasmite un haz estrecho que debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable sobre el nivel del suelo, para con ello conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y pasa ser capaces de salvar posibles obstáculos. Para conexiones a larga distancia, se utilizan conexiones intermedias punto a punto entre antenas parabólicas.

Se suelen utilizar en sustitución del cable coaxial o las fibras ópticas ya que se necesitan menos repetidores y amplificadores, aunque se necesitan antenas alineadas. Se usan para transmisión de televisión y voz. La principal causa de pérdidas es la atenuación debido a que las pérdidas aumentan con el cuadrado de la distancia (con cable coaxial y par trenzado son logarítmicas). La atenuación aumenta con las lluvias. Las interferencias es otro inconveniente de las microondas ya que al proliferar estos sistemas, puede haber más solapamientos de señales.

1.3.3.4.1.2 Microondas satelitales

Un satélite de comunicaciones es esencialmente una estación que retransmite microondas. Se usa como enlace entre dos o más receptores/trasmisores terrestres, denominados *estaciones base*.

El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), la amplifica o repite, y posteriormente la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente). Cada uno de los satélites geoestacionarios operará en una serie de bandas de frecuencias llamadas “*transponders*”. El satélite recibe las señales y las amplifica o retransmite en la dirección adecuada. Para mantener la alineación del satélite con los receptores y emisores de la tierra, el satélite debe ser geoestacionario. El satélite, para mantenerse geoestacionario, debe tener un periodo de rotación igual al de la tierra y esto sólo ocurre a una distancia de 35.784 km.

El rango de frecuencias para la recepción del satélite debe ser diferente del rango al que este emite, para que no haya interferencias entre las señales que ascienden y las que descienden.

Debido a que la señal tarda un pequeño intervalo de tiempo desde que sale del emisor en la Tierra hasta que es devuelta al receptor o receptores, ha de tenerse cuidado con el control de errores y de flujo de la señal. Si dos satélites utilizaran la misma banda de frecuencia y estuvieran suficientemente próximos, podrían interferir mutuamente. Para evitar esto, los estándares actuales exigen una separación mínima de 0,4 (desplazamiento angular medido desde la superficie terrestre) en la banda 4/6 GHz, y una separación de al menos 0,3 a 12/14 GHz.

Por tanto el número máximo de posibles satélites está bastante limitado. La mayoría de los satélites que proporcionan servicio de enlace punto a punto operan en el intervalo entre 5,925 y 6,425 GHz, para la transmisión desde las estaciones terrestres hacia el satélite (canal ascendente) y entre 3,7 y 4,2 GHz para la transmisión desde el satélite hasta las tierras (canal descendente). Esta combinación se conoce como banda 4/6 GHz. Nótese que las frecuencias ascendentes son diferentes de las descendentes.

En transmisión continua y sin interferencias, el satélite no podrá transmitir y recibir en el mismo rango de frecuencias. Así pues, las señales que se reciben desde las estaciones terrestres en una frecuencia dada se deberán devolver en otra distinta.

Se suele utilizar este sistema para:

- Difusión de televisión.
- Transmisión telefónica a larga distancia.
- Redes privadas.

La transmisión satelital es el medio óptimo para los enlaces internacionales que tengan un alto grado de utilización y es competitivo comparado con los sistemas terrestres en muchos enlaces internacionales de larga distancia.

Las ventajas de los radioenlaces de microondas comparados con los sistemas de línea metálica son:

- Volumen de inversión generalmente mas reducido.
- Instalación más rápida y sencilla.
- Conservación generalmente más económica y de actuación rápida.
- Puede superarse las irregularidades del terreno.
- La regulación solo debe aplicarse al equipo, puesto que las características del medio de transmisión son esencialmente constantes en el ancho de banda de trabajo.
- Puede aumentarse la separación entre repetidores, incrementando la altura de las torres.

Las desventajas de los radioenlaces de microondas comparados con los sistemas de línea metálica son:

- Explotación restringida a tramos con visibilidad directa para los enlaces. Necesidad de acceso adecuado a las estaciones repetidoras en las que hay que disponer de energía y acondicionamiento para los equipos y servicios de conservación. Se han hecho ensayos para utilizar generadores autónomos y baterías de células solares.
- La segregación, aunque es posible y se realiza, no es tan flexible como en los sistemas por cable
- Las condiciones atmosféricas pueden ocasionar desvanecimientos intensos y desviaciones del haz, lo que implica utilizar sistemas de diversidad y equipo auxiliar requerida, supone un importante problema en diseño.

Las empresas industriales que emplean sistemas de telecomunicaciones hablan de una confiabilidad media del orden de 99.9999%, o sea un máximo de 30 segundos de interrupciones por año, en los sistemas de microondas de largo alcance.

De acuerdo con las recomendaciones del CCIR, los enlaces, deben tener una longitud media de 50 Km.

1.3.3.4.2 Ondas de radio

Cuando los electrones oscilan en un circuito eléctrico, parte de su energía se convierte en radiación electromagnética. La frecuencia (la rapidez de la oscilación) debe ser muy alta para producir ondas de intensidad aprovechable que, una vez formadas, viajan por el espacio a la velocidad de la luz. Cuando una de esas ondas encuentra una antena metálica, parte de su energía pasa a los electrones libres del metal y los pone en movimiento, formando una corriente alterna cuya frecuencia es la misma que la de la onda. Este es, sencillamente, el principio de la comunicación por radio.

La diferencia más palpable entre las microondas y las ondas de radio es que estas últimas son omnidireccionales, mientras que las primeras tienen un diagrama de radiación mucho más direccional. Por tanto, las ondas de radio no necesitan antenas parabólicas, ni necesitan que dichas antenas estén instaladas sobre una plataforma rígida para estar alineadas.

Con el término ondas de radio se alude de una manera poco precisa a todas las bandas de frecuencia desde 3 kHz a 300 GHz. Aquí dicho término se considera que abarca la banda VHF y parte de la UHF: de 30 MHz a 1 GHz. Este rango cubre la radio comercial FM, así como televisión UHF y VHF. Este rango también se utiliza para una serie de aplicaciones de redes de datos.

El rango de frecuencias comprendido entre 30 MHz y 1 GHz es muy adecuado para la difusión simultánea a varios destinos.

A diferencia de las ondas electromagnéticas con frecuencias menores, la ionosfera es transparente para ondas de radio superiores a 30 MHz. Así pues, la transmisión es posible cuando las antenas están alineadas, no produciéndose interferencias entre los transmisores debidas a la reflexiones con la atmósfera. A diferencia de la región de las microondas, las ondas de radio son menos sensibles a la atenuación producida por la lluvia.

Un factor determinante en las ondas de radio son las interferencias por multitrayectorias. Entre las antenas, debido a la reflexión en la superficie terrestre, el mar u otros objetos, pueden aparecer multitrayectorias.

Existen varios mecanismos con los cuales puede propagarse las ondas de radio desde una antena transmisora hasta la receptora.

Estas se pueden clasificar en:

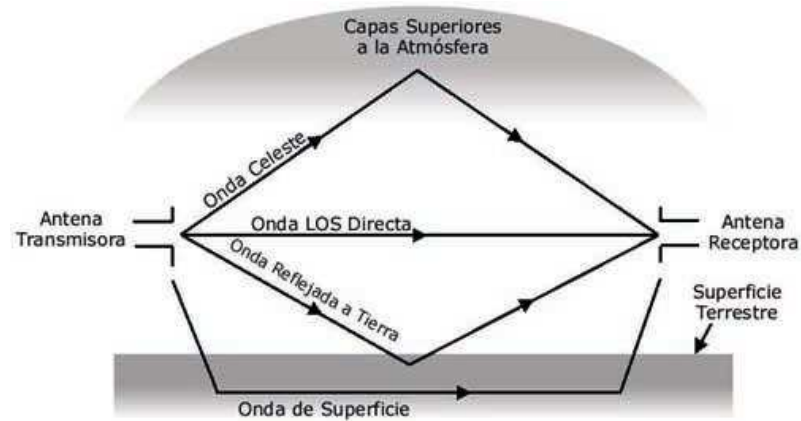
- Onda ionosférica.
- Onda troposférica.
- Onda terrestre.

La onda ionosférica, es la que permite las comunicaciones a larga distancia de todos los tipos, con excepción de las ondas de muy baja frecuencia, y es la causa de las variaciones de la intensidad de las señales durante el día y la noche, durante el invierno y el verano, etc.

El término onda troposférica, se refiere a la energía que se propaga en el espacio por encima de la tierra, en condiciones tales que resulta afectada por la ionosfera, una región ionizada que existe en la alta atmósfera alrededor de 60 Km de altura, y que tiene la propiedad de refractar las ondas de radio, devolviéndolas hacia la tierra en muchas circunstancias. La troposfera, es la porción de la atmósfera terrestre de un espesor de alrededor de 16 Km. adyacente a la superficie terrestre.

La onda terrestre es aquella que se desplaza siguiente el nivel del suelo, rara vez penetra en los túneles y es posible reconocerla cuando se viaja rápido y se desciende una hondonada, y se vuelve a subir, observándose que la señal disminuye, aunque no desaparece del todo.

Figura 3. Diferentes modos de propagación de ondas de radio



Las diferencias entre las ondas de radio y las microondas son:

- Las microondas son unidireccionales y las ondas de radio omnidireccionales.
- Las microondas son más sensibles a la atenuación producida por la lluvia.
- En las ondas de radio, al poder reflejarse estas ondas en el mar u otros objetos, pueden aparecer múltiples señales "hermanas".

1.3.3.4.3 Infrarrojos

Las comunicaciones mediante infrarrojos se llevan a cabo mediante transmisores y receptores ("transceivers") que modulan luz infrarroja no coherente. Los emisores y receptores de infrarrojos ("transceivers") deben estar alineados o bien estar en línea tras la posible reflexión de rayo en superficies como las paredes. En infrarrojos no existen problemas de seguridad ni de interferencias ya que estos rayos no pueden atravesar los objetos (paredes por ejemplo). Tampoco es necesario permiso para su utilización (en microondas y ondas de radio si es necesario un permiso para asignar una frecuencia de uso).

1.3.4 Por el tipo de información

1.3.4.1 Red de telefonía fija

El servicio de telefonía fija surge como respuesta a la necesidad de interconectar los diversos usuarios que deseaban establecer una comunicación vocal, y aunque al principio era una iniciativa privada, pronto se convirtió en un servicio público. En la mayoría de los países se realizó la concesión de la explotación de estas redes a una única empresa, de carácter estatal con fuerte presencia gubernamental, a modo de monopolio. Mediante el servicio de telefonía fija lo que se ofrece es la posibilidad de establecer comunicaciones vocales entre dos puntos cualesquiera de la red.

Los conmutadores usados para enrutar las llamadas telefónicas, que fueron alguna vez electromecánicas, son ahora ampliamente reemplazadas por sistemas de conmutadores electrónicos digitales sofisticados. Los conmutadores electrónicos son mucho más flexibles porque ellos pueden ser programados para proveer nuevos servicios. Las últimas generaciones de conmutadores han hecho un número de nuevas características posible. Los usuarios, por ejemplo pueden leer el número del teléfono del cual reciben la llamada si ellos desean suscribirse al servicio de “Identificación de llamada” (*caller ID*).

1.3.4.2 Red de telefonía móvil

La red de telefonía móvil o celular consiste en un sistema telefónico en el que mediante la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio (estaciones base) y una serie de centrales telefónicas de conmutación, se posibilita la comunicación entre terminales telefónicos portátiles (teléfonos móviles) o entre terminales portátiles y teléfonos de la red fija tradicional.

El empleo de la palabra *celular* referido a la telefonía móvil, deriva del hecho de que las estaciones base, que enlazan vía radio los teléfonos móviles con los controladores de estaciones base, están dispuestas en forma de una malla, formando células o celdas (teóricamente como un panal de abejas). Así, cada estación base está situada en un nodo de estas células y tiene asignado un grupo de frecuencias de transmisión y recepción propio. Como el número de frecuencias es limitado, con esta disposición es posible reutilizar las mismas frecuencias en otras células, siempre que no sean adyacentes, para evitar interferencia entre ellas.

Básicamente existen dos tipos de redes de telefonía móvil:

- **Red de telefonía móvil analógica (TMA).** Como su propio nombre indica, en esta red la comunicación se realiza mediante señales vocales analógicas tanto en el tramo radioeléctrico como en el terrestre. En su primera versión funcionó en la banda radioeléctrica de los 450 MHz, trabajando posteriormente en la banda de los 900 MHz.
- **Red de telefonía móvil digital.** En esta red la comunicación se realiza mediante señales digitales, lo que permite optimizar tanto el aprovechamiento de las bandas de radiofrecuencia como la calidad de transmisión. Su exponente más significativo en el ámbito público es el estándar GSM y su tercera generación, UMTS. Funciona en las bandas de 850/900 y 1800/1900 MHz. En 2004 llegó a los 1000 millones de usuarios. Hay otro estándar digital, denominado CDMA. En el ámbito privado y de servicios de emergencias como policía, bomberos y servicios de ambulancias se utilizan los estándares *Tetrapol* y *TERrestrial Trunked RAdio* (TETRA) en diferentes bandas de frecuencia.

1.3.4.3 Red de datos

Se instalan para compartir recursos, por ejemplo impresoras o discos duros; para compartir información, por ejemplo bases de datos; para tener acceso a computadores centrales; para tener comunicación más expedita, por ejemplo usando el correo electrónico; y para tener conectividad, por ejemplo interconexión de diferentes equipos de distintos proveedores.

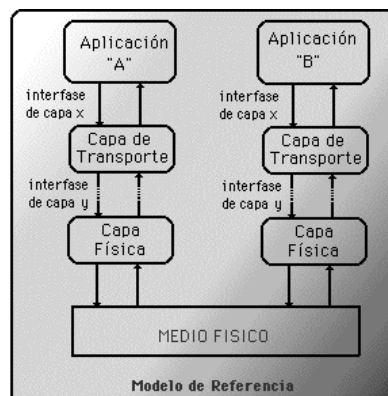
A una red de datos se puede conectar computadoras personales, servidores de: comunicaciones, de faxes, de red; minicomputadoras, computadoras centrales (*MainFrames*).

Hay muchos beneficios en el uso de redes de datos, incluyendo:

- Ahorros al compartir datos y periféricos.
 - Estandarización de aplicaciones.
 - Adquisición de datos expedita.
 - Comunicaciones más eficientes entre usuarios.
-
- **Protocolo de comunicación** Un protocolo es un conjunto de reglas que indican cómo se debe llevar a cabo un intercambio de datos o información. Para que dos o más nodos en una red puedan intercambiar información es necesario que manejen el mismo conjunto de reglas, es decir, un mismo protocolo de comunicaciones. Debido a la gran variedad de protocolos, se hizo necesario estandarizarlos y para eso se tomó un diseño estructurado o modular que produjo un modelo jerárquico conocido como modelo de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*).

- Jerarquía de protocolos** La idea central detrás del modelo es que, para que una aplicación que reside en un nodo A establezca comunicación con una aplicación en un nodo B, debe usar los servicios de una capa de la red. Llamemos a esa capa "capa de aplicación". La capa de aplicación le brinda un conjunto de servicios a las aplicaciones pero a su vez depende de otra capa inferior para trabajar. Llamemos a esa capa "capa de transporte de paquetes". La capa de transporte de paquetes es todo lo que necesita la de aplicación para trabajar en la red y, a su vez, la capa de aplicación es todo lo que necesita la de transporte para comunicarse con la aplicación, de manera que tenemos un flujo de información en ambos sentidos. Bajo la capa de transporte residen otras capas con relaciones similares a las ya descritas, hasta llegar a la capa que se encarga del problema del medio físico por el cual viaja finalmente la información de manera electrónica. Llamemos a esta última capa "capa física". Por ejemplo, esta capa podría encargarse de detectar señales de voltaje en un cable de cobre y agruparlas como unos y ceros para formar un *byte*, y luego unir los *bytes* hasta formar una cadena de cierto tamaño predefinido por el protocolo y pasar esa cadena a la capa inmediata superior.

Figura 4. Modelo de capas



Los principios que rigen este diseño modular son:

- Cada capa debe ser lo suficientemente pequeña para que sus funciones sean fácilmente entendibles.
- Cada capa debe ser lo suficientemente amplia para que realice un conjunto de funciones que sean significativas para el protocolo en su conjunto.
- Cada capa debe ofrecer un conjunto bien definido de funciones hacia la capa superior.
- Cada capa debe poder hacer su trabajo usando los servicios provistos por la capa inferior.

En cada capa del modelo de referencia se puede hablar del protocolo de la capa n y cada entidad que reside en una capa usa una interfase para comunicarse con la capa inferior o con la capa superior. Esa interfase consta de un conjunto de operaciones y servicios bien definidos según los principios antes descritos. En un momento dado, se puede decir que existe una comunicación virtual directa entre la capa n de una aplicación en un nodo con la capa n de otra aplicación en otro nodo.

Podemos decir que el conjunto de capas, sus principios y sus protocolos definen una arquitectura de red. De esta forma es sencillo que un fabricante produzca aparatos de red para algún nivel o niveles de la arquitectura de red.

2. ASPECTOS TÉCNICOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE REDES DE TELECOMUNICACIONES

Este capítulo considera los aspectos técnicos genéricos que son importantes en el diseño de redes. Además se provee características para analizar los objetivos técnicos en el diseño de nuevas redes o en la actualización de la misma, lo cual ayudará a en el proceso de selección de la tecnología que llenen las expectativas de los clientes.

Nuestro interés es explicar la importancia de los aspectos técnicos para poder producir servicios de comunicaciones con el grado de servicio y calidad esperado.

2.1 Tecnología de red

La tecnología prevista en el diseño a implementar en nuestra red debe ser seleccionada previo el análisis de ciertas características sumamente importantes a fin de alcanzar los objetivos iniciales de la red. Definitivamente la tecnología a utilizar nos servirá como parámetro que limitará los posibles servicios a prestar, la calidad de servicio, etc.

2.1.1 Características a buscar en la tecnología

Las características técnicas típicas a buscar en una red son definidas a continuación. Por supuesto, cada uno de estas características tienen asociados ciertos beneficios y ventajas que nos brindarán si son tomados en cuenta.

2.1.1.1 Escalabilidad

Se refiere a cuánto crecimiento puede soportar nuestro diseño de red. En muchos casos esta característica es un objetivo principal. Varias compañías agregan usuarios, aplicaciones y conexiones externas con redes a velocidades mayores. El propósito del diseño de la red debe ofrecer la facilidad para adaptarse e incrementar la utilización y el campo de la red.

Al momento de disponernos a diseñar debemos tener clara la idea de cómo será nuestra red en los próximos dos años, mejor aún, en los próximos cinco, dado que en la mayoría de casos no se puede implementar desde el principio la red por completo, por cuestiones económicas o por no contar con la cantidad de clientes o usuarios para la red en el momento de la implementación. Regularmente, los proyectos de telecomunicaciones se determinan para una vida útil entre 5 y 10 años, porque es aproximadamente el tiempo que se necesita para que una nueva tecnología esté disponible, es decir, es el tiempo que tarda en que la idea concebida se desarrolle, madure y se pueda comercializar.

La proyección financiera de la empresa, va íntimamente relacionada a este punto, porque al saber cual es la rentabilidad que se desea alcanzar, podemos determinar cuánto podemos y debemos crecer para obtenerla. En este sentido es muy usual que los administradores empoderen a los diseñadores de la red para que tomen decisiones estratégicas respecto a la tecnología óptima para poder alcanzar las metas de ventas y mercadeo con el recurso financiero disponible.

Cuando analizamos la escalabilidad, es importante mantener en mente que existen impedimentos de escalabilidad inherentes en las tecnologías de las redes.

Seleccionar tecnologías que puedan coincidir con los objetivos de escalabilidad es un proceso complejo con implicaciones significantes si no se hace correctamente.

2.1.1.2 Disponibilidad

Al hablar de disponibilidad nos referimos a la cantidad de tiempo que una red está disponible para los usuarios y es usualmente un objetivo crítico en el diseño de redes. La disponibilidad puede ser expresada como un porcentaje del tiempo disponible por año, mes, semana, día u hora, comparada con el tiempo total en ese periodo. En general, disponibilidad significa cuánto tiempo la red opera adecuadamente.

La disponibilidad está ligada a la fiabilidad, la cual se refiere a una variedad de puntos, incluyendo exactitud, tasas de error, estabilidad y la cantidad de tiempo entre fallas.

Otro concepto relacionado con la disponibilidad es la redundancia. Aunque esta no sea un objetivo de la red como tal, sí es una solución al objetivo de alta disponibilidad. Actualmente, en la búsqueda de continuidad, disponibilidad de servicio, el pensar en redundancia en el diseño es común y de suma importancia.

La disponibilidad está también asociada con la elasticidad. Esta palabra es utilizada cada vez más y más en el medio de redes y significa la cantidad de presión que una red puede manejar y qué tan rápido la red puede recuperarse de problemas tales como pérdida de seguridad, desastres naturales e innaturales, errores humanos y fallas de *software* o *hardware*. La disponibilidad de la red es directamente proporcional a su elasticidad.

Como parte del proceso de planeamiento de la red es importante reconocer que partes de la misma son críticas y deben tener una copia de respaldo para que al momento de una pérdida de servicio inesperada, por cualquier motivo, el servicio pueda ser reestablecido lo antes posible y no afectar notablemente la disponibilidad.

Al especificar la disponibilidad deseada, es necesario hacerlo de ser posible con dos dígitos de precisión, por ejemplo 99.75, así como cuándo es que se dará este período de la indisponibilidad para analizar si no se ven afectados los intereses de los clientes. Es necesario estar conciente que entre mas se acerque el porcentaje de precisión a 100% será indispensable equipo de redundancia e interconexiones, personal extra y contar con hardware y software altamente fiable.

2.1.1.3 Seguridad

El aspecto de la seguridad es uno de los más importantes en el diseño de redes. El incremento de amenazas, tanto internas como externas hacen que sea indispensable reglas de seguridad y tecnologías muy actualizadas.

El primer paso en el diseño de seguridad es planear, lo cual consiste en identificar los puntos importantes de la red que deben ser protegidos, analizar riesgos, y desarrollar los requerimientos de seguridad. La implementación de seguridad puede agregar costos al desarrollo y operación de la red.

Es común construir sistemas con la seguridad suficientemente necesaria para reducir pérdidas potenciales a un nivel de seguridad deseado. Un objetivo práctico es asegurarse que el costo de implementar seguridad en nuestra red no exceda el costo que se tendría si se incurriera en un incidente por no contar con ella.

El primer paso en el diseño de seguridad es identificar los puntos fuertes e importantes que deben ser protegidos, el valor de estos puntos y el costo estimado asociado con la pérdida de estos si ocurriera una ruptura en la seguridad. Entre estos puntos importantes de una red podemos citar: hardware, software, aplicaciones y datos. Menos obvia pero importantes, la propiedad intelectual, secretos de comerciales y la reputación de la compañía.

En adición a identificar los puntos fuertes, un paso importante en el diseño seguro es analizar las amenazas potenciales y entender claramente su probabilidad y severidad. El manejo de riesgo y sus condiciones de seguridad es un proceso continuo, porque los riesgos cambian su severidad y probabilidad regularmente.

Un de los requerimientos básicos e importantes es que los problemas de seguridad o la implementación de la misma no debe por ningún motivo afectar los intereses de la empresa. El otro requerimiento de seguridad es proteger los puntos importantes de ser incapacitados, robados, alterados o dañados.

2.1.1.4 Administración

Cada cliente tiene diferentes objetivos referentes a la administración de una red. Algunos clientes tienen objetivos precisos, algunos otros tienen objetivos específicos menores. Si se cuenta con planes definitivos debemos asegurarnos de documentarlos, porque mas adelante necesitaremos referirnos a esos planes para seleccionar el equipo. En algunos casos, los equipos tienen que ser excluidos porque no soportan las funciones de administración requeridas.

Durante la recolección inicial de requerimientos técnicos para el diseño de una red o su actualización, podemos utilizar la terminología de la Organización Internacional de Estandarización (ISO) para simplificar la discusión de los objetivos de administración de la red, de la siguiente forma:

- **Administración de rendimiento.** Analizar el tráfico y el comportamiento de las aplicaciones para optimizar una red, encontrar acuerdos del nivel de servicio, y un plan de expansión.
- **Administración de fallas.** Detectar, aislar y corregir problemas; reportando problemas a los usuarios finales y administradores; observar tendencias que estén relacionadas a problemas.
- **Administración de configuración.** Controlar, operar, identificar y recolectar datos de los equipos manejados.
- **Administración de seguridad.** Monitorear y probar la seguridad y las políticas de protección, contraseñas de mantenimiento y distribución y cualquier otra información de autenticación y autorización, claves de encriptamiento y auditar la fidelidad a las políticas de seguridad.
- **Administración de cuentas.** Contabilizar la utilización de la red para asignar los costos a usuarios y/o planificar cambios en requerimientos de capacidad.

2.1.1.5 Utilidad

La utilidad se refiere a la facilidad con la cual los usuarios de la red pueden acceder a los servicios de la misma.

Es indispensable entender la importancia de la utilidad en el diseño de su red, porque algunos componentes en el diseño de redes pueden tener un efecto negativo sobre la utilidad.

En el tema de la utilidad puede incluirse la necesidad de movilidad. La mayoría de los usuarios desean tener y mantener la calidad de los servicios prestados por la red no importando su ubicación física, por lo tanto, tomar en cuenta este punto como parte de los requerimientos técnicos de la red nos dan un parámetro importante en el diseño tanto para la selección del equipo como para el tipo de infraestructura que necesitamos para la cobertura deseada.

2.1.1.6 Adaptabilidad

Cuando estamos diseñando una red, debemos evitar incluir cualquier elemento que puede hacer difícil la implementación de nuevas tecnologías en un futuro. Un buen diseño de red puede adaptarse a nuevas tecnologías y cambios. Cambios que pueden darse en forma de nuevos protocolos, nuevos objetivos económicos y un gran número de otras posibilidades. La adaptabilidad de una red afecta su disponibilidad porque si una red no se puede adaptar a nuevos cambios, ésta no puede ofrecer buena disponibilidad.

El diseño de una red flexible es también adaptable a cambios en los patrones de tráfico y a los requerimientos calidad de servicios (QoS).

Otro aspecto de adaptabilidad es que tan rápido los equipos de interconexión entre redes deben adaptarse a los problemas y a actualizaciones. Por ejemplo, ¿qué tan rápido deben los conmutadores y puentes adaptarse a las fallas de otros conmutadores, causando un cambio en la topología tipo árbol? ¿Qué tan rápido los *routers* se adaptan a las redes uniendo la topología?

2.1.1.7 Rentabilidad

La rentabilidad es algunas veces llamada costo-beneficio. La rentabilidad es parcialmente un objetivo económico, pero también envuelve varios asuntos técnicos.

Para que el diseño de una red sea rentable, esta debe soportar la máxima cantidad de tráfico con un costo económico dado. Los costos financieros incluyen los costos de equipos no recurrentes y los costos recurrentes de operación de la red.

Otro aspecto bastante costoso al implementar una red es el costo de contratar los servicios, entrenamiento y mantenimiento del personal para la operación y manejo de la red. Para reducir este aspecto de costos operativos, es necesario que se desarrolle lo siguiente en el diseño de la red.

- Seleccionar equipo de interconexión que sea fácil de configurar, operar, mantener y manejar.
- Seleccionar un diseño de red que sea fácil de entender y de localizar las fallas.
- Desarrollar una buena documentación de la red que puede ayudar a reducir el tiempo necesario para resolver fallas.
- Seleccionar aplicaciones de red y protocolos que sean fáciles para utilizar para que los usuarios pueden auto soportarse en cierto modo.

2.2 Dimensionado de red

2.2.1 Introducción

2.2.1.1 Concepto de dimensionado de redes

El dimensionado de una red de telecomunicación es un aspecto del diseño de la misma, mediante el cual se determina la cantidad de equipo necesaria para servir una demanda prevista con una calidad de servicio prefijada.

La mayoría de los elementos de una red son compartidos por todos los usuarios conectados a la misma. Este hecho conduce a pensar que un correcto dimensionado debería realizarse considerando la red como un ente único y global. Sin embargo, es más operativo dimensionar la red descomponiéndola en partes de forma que cada una de las cuales tenga características homogéneas y diferenciales, y sea tal que el hecho de considerarla separadamente no afecte significativamente el resultado global. Será el buen criterio del planificador-diseñador el que guiará la decisión sobre la descomposición más correcta de la red, que permita dimensionarla adecuadamente.

2.2.1.2 Concepto de tráfico-definiciones-unidades

Dimensionar un sistema es calcular el tamaño o capacidad que debe tener para dar servicio a una demanda conocida con un cierto nivel de calidad.

En una red de telecomunicación, la demanda se expresa en términos de comunicaciones que se desea establecer, y el servicio se entiende como la disponibilidad de los órganos (circuitos, elementos de las centrales, etc.) que permiten el establecimiento de dichas comunicaciones. Los parámetros que sirven para cuantificar la demanda y el servicio se obtienen por medida directa, observación del comportamiento de los usuarios y evaluaciones estadísticas.

A efectos prácticos, la magnitud que se toma como dato de entrada para el dimensionado es una combinación de los parámetros de demanda y servicio, y recibe el nombre de tráfico.

Existen dos conceptos muy importantes:

- **Volumen de tráfico cursado** por un grupo de circuitos o de órganos durante un tiempo T es el total de los tiempos de ocupación de dichos circuitos u órganos expresado en horas.
- **Intensidad de tráfico cursado** por un grupo de circuitos u órganos es igual al volumen de tráfico cursado en la unidad de tiempo, es decir:

Ecuación 3

$$\text{Intensidad de tráfico} = \frac{\text{Volumen de tráfico en } t}{t}$$

Cuando se habla de la magnitud “tráfico” se sobreentiende que se trata de este segundo concepto, “intensidad de tráfico”.

La intensidad de tráfico (o tráfico, simplemente) es una magnitud adimensional cuya “unidad” recibe el nombre de Erlang. Por lo tanto, el volumen de tráfico se expresará en Erlangs x hora.

2.2.1.3 Grado de servicio

Cuando se diseña una red de telecomunicación, ésta debe ser dimensionada de forma que la calidad del servicio se mantenga en unos márgenes predefinidos. Dicha calidad puede cuantificarse, medirse y ser un dato de entrada para el dimensionado, mediante el concepto de “grado de servicio”.

2.2.2 Métodos de dimensionado de redes conmutadas por circuitos

2.2.2.1 Modelos fundamentales

El dimensionado de un sistema comienza siempre por un modelado del mismo. Las técnicas usuales de diseño y dimensionado de redes de telecomunicaciones se refieren a un número limitado de modelos, a los que se pueden reducir la mayoría de los sistemas, subsistemas o grupos de órganos que se desean dimensionar.

En general, el modelo adoptado pertenece a una de las dos categorías siguientes:

1. **Modelos de pérdidas.** Cuando el sistema que se desea dimensionar tiene la característica de que una llamada (petición unitaria de servicio) que encuentre el sistema totalmente ocupado se “pierde”. Esto significa que no recibe el servicio y es rechazada por el sistema.
2. **Modelos de espera.** Se caracterizan porque una petición de servicio que encuentre el sistema totalmente ocupado es retenida en una cola de espera hasta que pueda ser servida. (No hay pérdida)

Además de estas dos categorías fundamentales, pueden encontrarse modelos de tipo mixto, que incluyen espera y pérdidas.

Es lógico suponer que, dependiendo del modo en que se sirve la demanda, el procedimiento de dimensionado es diferente. En los sistemas con pérdidas, el problema a resolver es encontrar el número de órganos necesario para que la probabilidad de pérdida no supere un límite especificado. En estos sistemas, el grado de servicio (restricción para el dimensionado) se suele medir en términos de probabilidad de pérdida. Por el contrario, en los sistemas de espera, el dimensionado se realiza en función de parámetros tales como de probabilidad de espera, la demora media, la probabilidad de esperar más de un tiempo especificado, etc. Asimismo, el grado de servicio en los sistemas de espera se expresa en estos términos.

2.2.2.2 Ley de Poisson: distribución exponencial

Para abordar el problema del dimensionado de un sistema, hay que comenzar por tipificar o definir tres factores fundamentales:

1. Ley de aparición de las llamadas que se presentan en el sistema.
2. Ley de tratamiento o proceso de dichas llamadas (duración del servicio).
3. Disciplina de servicio (orden en que las llamadas son atendidas).

Centrándonos en los dos primeros, debemos destacar que se trata de leyes estadísticas, que se reducen de la observación y la medida.

Dado que la aparición de las llamadas está fuertemente influida por el azar y otros factores difícilmente cuantificables, se hace necesario simplificar el análisis recurriendo a un número limitado de modelos o leyes sencillas y bien conocidos, de tal forma que el resultado final del proceso de dimensionado sea suficientemente satisfactorio.

La ley de Poisson cumple con las características anteriores; es bien conocida, es sencilla y cumple satisfactoriamente en un gran número de casos prácticos.

La ley de Poisson establece que la probabilidad de que se presenten n llamadas en un intervalo de tiempo t viene dada por la expresión.

Ecuación 4

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

donde λ es la tasa de aparición de llamadas.

Si el intervalo de tiempo t se corresponde con la unidad de tiempo adoptada, λ representa el número medio de llamadas que aparecen en dicho intervalo, parámetro perfectamente medible.

El segundo factor a considerar en un dimensionado es, como dijimos, la tipificación de la duración del servicio (duración de la comunicación).

La ley exponencial o distribución exponencial nos puede dar un valor estadístico para establecer un aproximado de la duración de la comunicación.

La ley de distribución exponencial establece que la probabilidad de que una comunicación dure un tiempo superior a t viene dada por la expresión

Ecuación 5

$$P(t) = \mu e^{-\mu t}$$

donde μ es la tasa media de llamadas atendidas o comunicaciones terminadas por unidad de tiempo.

Las distribuciones estadísticas de Poisson y exponencial están estrechamente ligadas.

Si admitimos que la llegada de llamadas al sistema se produce según una ley de Poisson de tasa μ , estamos asumiendo implícitamente que la duración del intervalo de tiempo entre dos comunicaciones consecutivas sigue una ley exponencial, con valor medio $1/\mu$.

Del mismo modo, si la duración del servicio o duración de las comunicaciones sigue una ley exponencial de valor medio $1/\mu$, la ley por la cual las comunicaciones terminan (abandonan el sistema) es del tipo Poisson de tasa μ .

Ambas leyes, Poisson y exponencial se utilizan de un modo casi general en el dimensionado de redes de conmutación de circuitos.

2.2.2.3 Modelo de pérdidas de Erlang

Es el modelo fundamental en el análisis y el diseño de redes de telecomunicación.

Todo sistema perteneciente a una red de telecomunicación puede ser representado por el modelo de pérdidas de Erlang (o modelo de Erlang, simplemente) cuando se cumplan las siguientes hipótesis.

1. Las llamadas llegan individual y colectivamente al azar según una ley de Poisson de tasa λ .
2. El tiempo de duración de las comunicaciones sigue una ley exponencial negativa de tasa μ .
3. Las llamadas se atienden en el orden de llegada y ocupan al azar cualquier órgano libre del sistema.
4. Toda llamada que encuentra el sistema totalmente ocupado se “pierde” es decir, es rechazada por el sistema en el momento mismo en que accede al mismo.

Según el modelo de Erlang (de pérdidas), la probabilidad, de que el sistema esté cursando simultáneamente n llamadas viene dada por la expresión siguiente:

Ecuación 6

$$P_n = \frac{A^n/n!}{\sum_{k=0}^S A^k/k!}$$

donde $A = \lambda/\mu$ es el tráfico medio ofrecido al sistema y S es el número de órganos de que se compone el mismo.

A partir de esta fórmula, podemos hacer las siguientes consideraciones:

- Si el número de órganos del sistema es muy grande (“infinito”), la probabilidad de que se presenten llamadas en un periodo de tiempo igual al tiempo medio de servicio (tráfico medio = A) viene dada por

Ecuación 7

$$P_n \Big|_{S \rightarrow \infty} = \frac{A^n/n!}{\sum_{k=0}^S A^k/k!} \Big|_{S \rightarrow \infty} = \frac{A^n}{n!} e^{-A}$$

que no es sino la distribución de Poisson.

- La probabilidad de que el sistema esté completamente ocupado ($n = S$) viene dada por

Ecuación 8

$$P = \frac{A^S/s!}{\sum_{k=0}^S A^k/k!}$$

que es la conocida fórmula de Erlang-B, y se suele representar por $E_n^{(1)}$, o $E_s(A)$.

Esta expresión representa asimismo la probabilidad condicional de que una llamada encuentre el sistema bloqueado cuando se presente a la entrada de éste.

La fórmula de Erlang-B está tabulada y se usa ampliamente.

Si el tráfico ofrecido al sistema tiene de valor medio A ($A = \lambda/\mu$), las llamadas que encuentran el sistema bloqueado se pierden, y la probabilidad de que esto ocurra vale (fórmula de Erlang-B). De todo esto, podemos deducir que:

- El tráfico cursado B, vale:

Ecuación 9

$$B = A [1 - E_S (A)]$$

Esta expresión representa el número medio de órganos ocupados simultáneamente.

- El tráfico perdido o rechazado por el sistema vale, por término medio:

Ecuación 10

$$R = A - B = A \cdot E_S (A)$$

Este valor corresponde a la diferencia entre el número de llamadas que se cursarían si el sistema fuera de capacidad ilimitada y el número de ellas que realmente se cursa.

2.2.2.4 Modelo de espera de Erlang

Es análogo al modelo de pérdidas de Erlang, con la única diferencia de que en éste, las llamadas que encuentre el sistema ocupado no son rechazadas por él, sino que se incorporan a una cola de espera hasta que pueden ser atendidas.

Según este modelo, la probabilidad de que, en un instante dado, haya n llamadas en el sistema, siendo S la capacidad del mismo, vale:

- Si $n \leq S$ (no hay llamadas en espera):

Ecuación 11

$$P_n^{(1)} = \frac{A^n/n!}{\sum_{k=0}^{S-1} A^k/k! + \frac{A^S}{S!} + \frac{1}{1-A/S}}$$

- Si $n > S$ (hay $u = n - S$ llamadas en cola de espera):

Ecuación 12

$$P_n^{(2)} = \frac{A^S/s! (A/S)^n}{\sum_{k=0}^{S-1} A^k/k! + \frac{A^S}{S!} + \frac{1}{1-A/S}}$$

donde A es el valor medio del tráfico ofrecido al sistema.

De las expresiones anteriores, podemos deducir que la probabilidad de que una llamada tenga que esperar (probabilidad de espera) es igual a la probabilidad de que el sistema esté cursando S llamadas simultáneamente, y se expresa mediante la fórmula de Erlang-C o de espera:

Ecuación 13

$$E_s^{(2)}(A) = P_r\{n \geq s\} = \frac{A^S/s! \frac{1}{1-A/S}}{\sum_{k=0}^{S-1} A^k/k! + \frac{A^S}{S!} + \frac{1}{1-A/S}}$$

La fórmula de Erlang-C ($E_s^{(2)}(A)$) pueden ponerse en función de la de Erlang-B ($E_s^{(1)}(A)$):

Ecuación 14

$$E_s^{(2)}(A) = E_s^{(1)}(A) = \frac{1}{1-A/S [1-E_s^{(1)}(A)]}$$

Si $E_s^{(1)}(A)$ es igual o inferior al 1%, $E_s^{(2)}(A)$ admite la forma aproximada:

Ecuación 15

$$E_s^{(2)}(A) \cong E_s^{(1)}(A) \frac{1}{1-A/S}$$

El tráfico cursado por un sistema de espera coincide en su valor medio con el tráfico ofrecido, por no producirse pérdidas de tráfico.

Otros parámetros fundamentales para el dimensionado son:

- Tiempo medio de espera: Está distribuido según una ley exponencial del tipo

Ecuación 16

$$P_r[T_e = t] = \mu(S - A)e^{\mu(S-A)t}$$

donde μ es el parámetro que caracteriza el servicio (atención de llamadas).

Su valor medio viene dado por

Ecuación 17

$$\bar{t}_e = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{S - A}$$

que, expresado en unidades de tiempo de servicio ($1/\mu$) resulta:

Ecuación 18

$$\bar{t}_e = \frac{1}{S - A}$$

Las expresiones anteriores del tiempo de espera se refieren sólo a las llamadas que esperan para ser servidas. Si se desea expresar dicho concepto referido al conjunto de llamadas (las que esperan y las que no lo hacen), utilizaremos las expresiones siguientes:

Ecuación 19

$$t_{et} = t_e \cdot P_v \{ \text{espera} \} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{1}{S - A} E_S^{(2)}(A)$$

que, en unidades de tiempo de servicio resulta:

Ecuación 20

$$t'_{et} = \frac{E_S^{(2)}(A)}{S - A}$$

(como antes, este valor es de uso más habitual que t_{et}).

2.2.3 Métodos de dimensionado en redes de conmutación de paquetes

2.2.3.1 Generalidades

En teoría de tráfico, fundamentada en la estadística y en la teoría de procesos estocásticos, es de aplicación completamente general a todo tipo de redes de telecomunicación.

Sin embargo, su aplicación a cada tipo de concreto de red, bien sea desde el punto de vista del servicio (telefónico, de datos,...), del método de gestión de la red (conmutación de circuitos, conmutación de paquetes,...) o de cualquier otra consideración, requiere un procedimiento particular en cada caso.

A continuación se presenta una breve descripción de los métodos generales de diseño en redes de conmutación de paquetes. Estos métodos son aplicables tanto en redes digitales de conmutación telefónica y de datos, como en redes especiales para transmisión de datos. Aquí se hablará de bits/s en lugar de Erlangs, y de retrasos de transmisión en lugar de probabilidad de pérdida. No conviene olvidar, sin embargo, que la raíz de ambos planteamientos es común.

2.2.3.2 Diseño de una red de conmutación de paquetes

El dimensionado de una red de conmutación de paquetes viene siempre precedido por un diseño topológico de la misma.

Así el número y localización de los nodos de conmutación, bien se trate de una red pública o privada, viene fijado por consideraciones externas. Estas pueden ser, por ejemplo, relativas a la población (redes públicas) o a la actividad de los usuarios (redes privadas).

A partir del diseño topológico básico, el dimensionado de la red de paquetes puede hacerse:

- a) Por modelado analítico (a partir de un cálculo),
- b) Por simulación (observando el comportamiento de un modelo de la red en una computadora).
- c) Por tanteo (añadiendo tráfico en una red real básica hasta que el servicio se degrade hasta un cierto nivel).

Nuestro interés se centra, en el primero de estos métodos.

El dimensionado de redes de paquetes requiere la definición de un criterio para evaluar la calidad del servicio (grado de servicio).

El grado de servicio, en una red de conmutación de paquetes, viene dado por los dos parámetros siguientes:

Caudal (*Throughput*). Es el número de bits de información transportados por la red en la unidad de tiempo.

Tiempo de respuesta. Tiempo transcurrido entre el instante en que un paquete entra en la red y el instante en que el primer carácter de la respuesta es recibido. (Este parámetro tiene sentido en aplicaciones interactivas).

Es innecesario decir que una red será de mayor calidad cuanto mayor sea el caudal que puede circular por la misma, o bien cuanto mayor sea su tiempo medio de respuesta.

A partir de un modelo topológico de la red, y seleccionado el criterio que se usará para evaluar el grado de servicio (función de la aplicación a que se destina la red), el siguiente paso en el diseño es el dimensionado de los diversos elementos de que la red se compone. Esta etapa de dimensionado se refiere, casi exclusivamente a los enlaces, ya que los nodos (generalmente computadoras) tienen una capacidad que suele depender de consideraciones ajenas al funcionamiento global de la red que lo interconecta.

2.2.3.3 Modelado de una red de paquetes

Como sabemos un “paquete” es una cadena de estados binarios (bits) que se transmiten juntos por una línea de transmisión, correspondiendo parte de ellos a la información a transmitir, y el resto a códigos de control, direccionamiento, etc.

Un mensaje transmitido entre un origen y un destino estará compuesto de varios paquetes cuando su longitud sea mayor que la asignada a cada uno de éstos. La transmisión de cada paquete por la red se hará de forma independiente, y el mensaje será recompuesto en el destino.

Sentadas estas bases, y no olvidando que nos situamos en una red digital, definamos algunos términos necesarios para la exposición posterior:

- Capacidad de una vía de transmisión (régimen binario): Es el número máximo de elementos binarios que se pueden transmitir por segundo. Se mide en bits/s.

En una transmisión síncrona, si T es el período de base de tiempos del sincronismo,

Ecuación 21

$$D = 1/T \text{ (bits/s)}$$

En una transmisión asíncrona, se prefiere hablar de velocidad de modulación R, ya que la cadencia de sucesión de los elementos binarios que constituyen un carácter y sus indicaciones de principio y fin es un producto directo del generador de datos (modulador). Si A es la duración del intervalo significativo en segundos, la velocidad de modulación se expresará en baudios:

Ecuación 22

$$R = 1/A \text{ (baudios)}$$

- Longitud media de un paquete: Se mide en número de bits que lo componen (información + control). Aunque los paquetes sean de longitud variable, se utiliza como dato la longitud media L.
- Tasa de paquetes que atraviesa la vía de comunicación: Es el número medio de paquetes que atraviesa dicha vía. Lo denotaremos por la letra λ .

Si deseamos analizar el comportamiento de un enlace, canal o vía de transmisión, conocidos los valores de C (capacidad), L (longitud media de paquete) y λ (tasa media de paquetes) podemos deducir los siguientes valores:

- a) Tiempo medio de transmisión de un paquete por el enlace (despreciando el tiempo de propagación):

Ecuación 23

$$T_t = \frac{L \text{ (bits)}}{C \text{ (bit/s)}} = \frac{L}{C} \text{ (segundos)}$$

b) Número medio de bits que atraviesan el enlace en la mitad de tiempo:

Ecuación 24

$$n = \lambda \text{ (paquetes/s)} \cdot L \text{ (bit/paquetes)} = \lambda \cdot L \text{ (bits)}$$

Este valor deberá ser siempre menor que la capacidad del enlace. Cuanto más próximo esté n del valor límite de C , más cerca se estará de la saturación, y mayores serán las colas de espera y los retardos. El porcentaje de tiempo durante el cual el enlace está ocupado (ocupación del enlace) viene dado, por lo tanto, por:

Ecuación 25

$$\rho = \frac{\lambda \text{ (paquetes/s)} \cdot L \text{ (bit/paquetes)}}{C \text{ (bits/s)}} = \frac{\lambda \cdot L}{C} \text{ (adimensional)}$$

c) Si la longitud de los paquetes está distribuida según una ley exponencial, así como el tiempo transcurrido entre la aparición de los paquetes consecutivos, y éste es independiente del tiempo de transmisión de los paquetes (no hay bloqueo), se puede deducir que el tiempo medio de espera vale:

Ecuación 26

$$T_e = \frac{L}{C} \cdot \frac{\frac{\lambda L}{C}}{1 - \frac{\lambda L}{C}}$$

d) Como conclusión, el tiempo medio que un paquete tarda en atravesar el enlace será el resultado de sumar el tiempo medio de espera al tiempo medio de transmisión:

Ecuación 27

$$T = T_e + nT_t = \frac{L}{C} \cdot \frac{\lambda L/C}{1 - \lambda L/C} + \frac{L}{C}$$

Ecuación 28

$$T = \frac{L}{C} \cdot \frac{\lambda L/C}{1 - \lambda L/C}$$

2.3 Optimización de red

En la etapa de diseño y dimensionado de la red podemos encontrar varias soluciones que cumplen con todos los objetivos del servicio buscado. Sin embargo, cuando comparamos los costos implicados en cada una de las soluciones, podemos observar fuertes diferencias entre ellas.

El objetivo de la optimización de una red es encontrar entre todas las posibles soluciones la configuración óptima de la red para un criterio específico; en general, la red más económica.

Desde un punto de vista formal de optimización de redes es un problema que cae dentro del ámbito de los solucionables por investigación operativa. Para poder ser aplicada requerirá:

- La construcción de modelos matemáticos, económicos y estadísticos que representen el funcionamiento de la red y sus costos bajo las diversas alternativas que puedan adoptarse como soluciones de la red.
- El desarrollo de algoritmos matemáticos que, analizando el mérito relativo de las soluciones posibles del modelo, determinen aquello que maximice (o minimice) la función objetiva.
- Y por último, analizan el impacto de aquellos aspectos no incluidos en la función objetiva, como pueden ser flexibilidad, seguridad, etc.

2.3.1 Modelación

Un modelo en investigación operativa, es la representación matemática de un problema real. De acuerdo con ello, la modelación es un proceso según el cual, un problema puede ser representado cuantitativamente mediante expresiones matemáticas.

Un problema típico de optimización de una red puede ser planteado en la forma siguiente:

Dados:

- Un conjunto de datos de entrada (por ejemplo, localización de centrales, demandas de tráfico, costos de equipos de transmisión, etc.).
- Una serie de leyes describiendo el comportamiento de los diferentes componentes de la red (por ejemplo, características técnicas de equipos, reglas de encaminamiento, etc.).
- Una serie de restricciones impuestas a la solución (por ejemplo, uso máximo de planta existente, calidad de servicio requerido, normas de seguridad).
- Un criterio de optimización (frecuentemente, minimizar el costo de la red).

Encontrar un conjunto de resultados que constituyan la red de costo mínimo.

El objetivo de la modelación será encontrar una representación cuantificada de cada uno de los puntos anteriores.

Las ventajas de utilizar modelos para representar problemas reales son muchas. Por una parte nos permitirá contemplar el problema global y analizar las relaciones entre las diferentes partes del problema. Por otra parte, podrá cuantificarse la validez de las soluciones encontradas y delimitar el campo de aplicación de los diferentes modelos que puedan ser utilizados para representar cada parte del problema.

Asimismo, la utilización de modelos nos permitirá sistematizar el proceso de planificación y facilitará la dedicación del saber hacer del planificador y sus experiencias pasadas hacia aquellos temas, generalmente novedosos que realmente requieren sus esfuerzos.

El problema particular que nos interesa, la optimización de una red se caracteriza, por una parte, por la gran cantidad de variables que intervienen en la solución con unas fuertes interrelaciones y por otra parte la ausencia de métodos generales para representar el comportamiento de determinadas variables, y la no existencia de un criterio uniforme de optimización.

Esto nos lleva a intentar conseguir un compromiso entre la precisión deseada y la generalidad de los modelos frente a su complejidad de uso.

Encontrar el equilibrio, no es una tarea fácil. De todas formas, tendremos en cuenta que un modelo puede ser bueno aunque sea incompleto. Diremos que obtenemos un “buen” modelo si puede predecir con exactitud el efecto que tienen los cambios sufridos por las variables sobre la efectividad general del modelo.

Los criterios básicos seguidos en modelación de una red son:

- Selección de las variables que juegan un papel importante en la optimización, eliminando aquellas que no afectan a la solución o lo hacen de una forma constante.
- Modelación de dichas variables de forma particular para cada problema tratado.
- Y análisis para cada modelo creado de la potencialidad de resolución según algoritmos más o menos complejos.

2.3.1.1 Datos de entrada

Una de las tareas básicas cuando se está definiendo un modelo es seleccionar y definir las variables de entrada de datos.

La definición de variables de entrada y su modelación son, en cierta forma, diferentes aspectos de un mismo problema ya que debemos definir cada variable de forma que incluya todos aquellos factores que puedan afectar a la solución.

La previsión de datos necesarios en cada caso particular puede obtenerse de muy diferentes modos:

- Mediante la utilización de modelos de extrapolación basándose en el conocimiento del pasado.
- Mediante la evaluación de las tendencias actuales.
- Por relación con otros factores previsibles como pueden ser la renta por cápita, producto interno bruto, etc.

- Por analogías con otros países, regiones, etc. con diferente nivel de desarrollo tecnológico y económico etc.

Ninguno de estos modos son excluyentes entre sí y normalmente se utilizarán más de uno para poder predecir datos con un menor riesgo de inseguridad.

La precisión con que debe calcularse los datos de entrada requerida está en función de su finalidad. También dependerá de su finalidad, el nivel de detalle de cada dato.

Los métodos utilizados para obtener una predicción de datos en el futuro dependerán de la disponibilidad de los datos y de los medios de procesamiento.

Resumiendo, los pasos que debemos realizar para prever datos de entrada serán los siguientes:

- Primero, determinar la finalidad.
- A continuación, analizar los datos disponibles: Esta suele ser una tarea muy laboriosa que puede exigir la recopilación de nuevos datos o selección entre los existentes.
- Determinar las causas de las variaciones en las tendencias de los valores de datos en el pasado, debido a factores controlables como pueden ser, políticas de tarifas, planes de urbanismo, etc.
- Analizar las causas de dichas variaciones para corregir su efecto.
- Seleccionar el o los modelos a utilizar para la previsión y modificar los resultados según el buen criterio del experto en el tema.

- Y por último, revisar dicha previsión según sea necesario. Puede ser periódicamente o esporádicamente según acontecimiento predeterminado.

Debido a la dificultad de obtención de los datos de entrada para un modelo de optimización es recomendable analizar, una vez completado el modelo, cada una de las variables y su influencia en la solución encontrada mediante análisis de sensibilidad que nos indiquen cómo afecta en la solución cualquier cambio producido en los datos de entrada. Aquellas variables que tengan una mayor influencia en los resultados son los sujetos a los que deben dedicarse un mayor esfuerzo en predecir adecuadamente.

Atendiendo a su contenido podemos agrupar los datos de entrada de un proceso de optimización en tres grandes grupos:

- **Datos de demanda.** El objetivo de la optimización de una red es, como ya se ha dicho, encontrar la forma óptima de servir una demanda de tráfico con una determinada calidad de servicio. El primer problema que se presenta es como definir dicha demanda. El gran impacto que tiene la demanda para obtener la red óptima así como la imprevisibilidad de su evolución hace que sea de vital importancia el analizar la fiabilidad de los datos utilizados.
- **Datos económicos.** Teniendo en cuenta que la función objetivo de optimización de redes suele ser la red de mínimo costo, los datos económicos utilizados en estos estudios tienen una gran influencia en la solución. Deberá dedicarse esfuerzo en estudiar la fiabilidad de los datos utilizados (costos de equipos, inflación, tasas, etc...), y la previsión de evolución de costos de cada equipo que sea considerado.

- **Características técnicas de equipos.** La red objetivo se construirá con una serie de equipos disponibles que sirvan la demanda al mínimo costo y cumpliendo unas determinadas condiciones de calidad de servicio. Todas aquellas características técnicas de los equipos que afecten a la solución encontrada deben ser consideradas por el modelo de optimización.

2.3.1.2 Ecuaciones de condición

Entre la serie de restricciones que pueden imponerse a la solución típicamente podemos destacar:

- **Definición de calidad de servicio.**
Bajo este término pueden estar englobados diferentes conceptos, tales como grado de servicio, fiabilidad y seguridad de la red, que son difícilmente expresables en términos matemáticos. Pero ineludiblemente los modelos de optimización de red deben incluir estos factores en una forma cuantitativa. Esto se hace mediante restricciones a la solución que dependerán del problema particular que se esté tratando de resolver.
- **Uso del equipo existente.**
Esta condicionante puede restringir y complicar significativamente la obtención de la solución óptima de la red. Como regla general, el modelo debe considerar el uso de la planta existente con el mismo nivel de detalle que lo haga la solución obtenida.
- **Restricciones físicas.**
Son aquellos obstáculos naturales o normas impuestas por las administraciones que condicionan el ruteo físico de medios de transmisión (ríos, bahías, etc), el tamaño de los nodos de conmutación (volumen máximo de los edificios) etc.

- **Restricciones de equipo.**

Vienen impuestas por las características técnicas de los equipos que se utilizan para construir la red, como pueden ser modularidad, máximo número de rutas diferentes que puede manejar un equipo de conmutación, accesibilidad limitada, etc.

El nivel de definición de las diferentes ecuaciones de condición del modelo sigue las mismas reglas que la definición de datos de entrada.

2.3.2 Algoritmos de resolución

Una vez modelados todos los elementos de la red el siguiente paso será encontrar algoritmos de resolución que determinen cuál de las posibles soluciones del modelo de red definido maximiza o minimiza la función objetivo.

El tipo de algoritmos que se utilizan es muy variado debido a los diferentes problemas que deben ser resueltos. Podríamos clasificarlos de la siguiente manera:

- **Algoritmos correspondientes a teoría de grafos.** La red puede considerarse un grafo por el que deben encaminarse diferentes servicios. Un problema muy frecuente es encontrar los caminos mínimos de interconexión del grafo.
- **Algoritmos de cálculo diferencial.** Resolución de sistemas de ecuaciones.
- **Algoritmos de programación dinámica.** Para aquellos problemas que pueden resolverse mediante la búsqueda de óptimos parciales.

- **Algoritmos combinatoriales.** Estos algoritmos son muy sencillos de concebir pero frecuentemente son inmanejables por la gran cantidad de posibilidades que deben considerarse; en estos casos, en lugar de métodos de enumeración completo, suelen emplearse algoritmos de enumeración parcial que bajo condiciones más o menos sofisticadas permiten reducir sensiblemente el número de estudios.
- **Procesos iterativos.** Son muy frecuentes estos procesos de resolución que partiendo de una solución inicial van refinándola hasta alcanzar la solución óptima. El problema de estos algoritmos es la existencia de óptimos relativos, la no convergencia del modelo hacia la solución óptima y la posible oscilación de soluciones. La elección de la solución inicial suele ser un factor dominante para la obtención de la solución óptima en muchos casos.
- **Métodos heurísticos.** Se utilizan para resolver problemas de red. Normalmente, están fundamentados en el conocimiento, por parte del planificador, del comportamiento de la red.

La mayoría de estos algoritmos no nos garantizan la obtención de óptimos absolutos, pero éste no es realmente un problema serio en la planificación de redes. El poder garantizar una solución que no difiera de la solución óptima más que en un porcentaje muy pequeño es suficiente si se tiene en cuenta, por una parte el gasto adicional que exigiría el poder obtener ese óptimo absoluto, que podría llegar a compensar el incremento del costo de la solución obtenida, y por otra parte a la incertidumbre que puede tenerse tanto respecto a la predicción de demanda como la estimación de equipos disponibles y sus costos en un futuro más o menos lejano.

La aplicación de algunos de estos algoritmos implica cálculos abundantes bastante complejos que los harían ser inviables a no ser por el uso de programas de computadora que de una forma fiable y rápida elaboran los datos implicados y obtienen una solución.

2.4 Predicción y previsión

La predicción tanto del número de terminales como del tráfico que originan y reciben es una etapa previa necesaria en la planificación de cualquier red.

El equipamiento de servicios de telecomunicaciones (nuevas instalaciones o ampliaciones) requiere instalar equipos terminales, equipos en centrales de conmutación, enlaces locales y circuitos externos. Siempre existe un desfase en el tiempo entre la identificación de la necesidad futura y el momento en el que puede ser satisfecha. Este desfase, expresado en unidades de tiempo, a veces es considerable. Para evitar largos plazos de espera y unas congestiones elevadas en las redes es conveniente determinar con antelación suficiente estas necesidades. Ello permitirá ampliar la planta en los momentos más oportunos.

El objetivo principal de las predicciones es facilitar a los planificadores de la red las estimaciones previas de la demanda futura de equipos y facilidades de telecomunicación, tratando de responder a las conocidas preguntas de ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿cuánto? con la debida antelación.

La situación en muchos países en vías de desarrollo puede ser tal que la demanda sea mucho mayor que la capacidad de suministros. En tal caso, prácticamente, todas las ampliaciones se utilizarán inmediatamente sin que disminuya esencialmente el desfase entre los suministros y la demanda. Prever la demanda en tales casos es muy difícil, puesto que la demanda existente no puede medirse o estimarse. Sin embargo es tarea de las personas encargadas de la previsión estimar esta demanda de forma que los que toman decisiones conozcan el efecto sobre la situación demanda-suministro de sus acciones. Ocuparse de tales situaciones es también competencia de la política a seguir por la administración.

2.4.1 Plazos para la previsión

Los plazos de previsión dependen de los períodos de planificación. Estos a su vez dependen de los plazos de entrega de los distintos tipos de equipo.

Toda planificación como la previsión se dividen normalmente en:

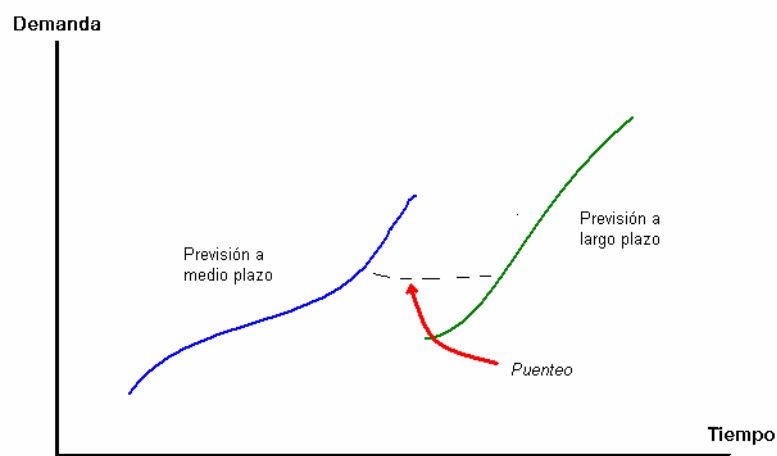
Planificación / Previsión a largo plazo	más de 10 – 15 años.
Planificación / Previsión medio plazo	5 – 10 años.
Planificación / Previsión corto plazo	menos de 5 años.

Se desprende que los distintos tipos de previsión y planificación se ocupan de diferentes tipos de equipos, dependiendo de cuando vayan a utilizarse estos equipos. Evidentemente una previsión a corto plazo tiene que ser más detallada cuando sirve a una planificación a corto plazo, en que cada detalle de la planta tiene que estar especificado.

No existe un único método de previsión adecuado para todos los plazos. Consecuentemente han de utilizarse métodos diferentes para períodos distintos, y esto hace aparecer el problema de los ajustes cuando se realizan previsiones para los períodos en los que se solapan varios períodos con métodos diferentes, puesto que pueden suceder discrepancias entre la curvas de crecimiento.

No existe un procedimiento normalizado para ajustar previsiones contradictorias. En la mayoría de los casos se utilizan los juicios basados en la experiencia y se dibuja una curva que presente la inconsistencia entre las previsiones. Este hecho se muestra en la figura 5.

Figura 5. Ajuste de previsiones contradictorias



2.4.2 Soporte de la predicción

2.4.2.1 Requerimientos básicos

Hay dos requerimientos principales para una adecuada previsión:

- Deberán suministrarse y estar disponible una información exacta y relevante sobre el pasado. Generalmente consistirá esto en registro sobre medidas de equipos existentes (conexiones, tráfico, etc), complementados con informaciones generales básicas, y la utilización sistemática de estos datos de previsión.
- Suposiciones adecuadas de desarrollos futuros. Esta estimación del desarrollo futuro puede ser una extrapolación del desarrollo pasado, a veces ajustado, para tener en cuenta toda información básica disponible. Las previsiones necesitan datos históricos precisos para poder ser mejoradas.

En consecuencia la base para la previsión es el estudio del pasado. Cuanto más se comprenda y se describa matemáticamente el desarrollo pasado, mejores oportunidades habrá para hacer una precisión correcta.

También hay que señalar que se debe indicar el grado de incertidumbre de los datos previsto para que quienes los van a utilizar los tengan en cuenta.

2.4.2.2 Verificación de la previsión

Las siguientes preguntas críticas deberían poder formularse siempre:

- ¿Es relevante (válida) la previsión?
- ¿Qué previsión tiene?
- ¿Se puede creer el resultado?

La relevancia de una previsión en algunos casos depende del uso correcto de las suposiciones para desarrollos futuros.

La exactitud de una previsión puede depender de la precisión estadística de los datos históricos y del método de extrapolación empleado.

Cuando se juzga la credibilidad de una previsión hay que recordad que:

- Pueden ser erróneas las previsiones relativas a población, desarrollo económico e industrial, etc.
- Las estadísticas disponibles para las telecomunicaciones en el pasado pueden tener errores y no siempre se han corregido en las mismas condiciones.
- Los datos disponibles sobre el desarrollo histórico puede que cubran solamente un período limitado.
- Las relaciones pasadas y presentes entre las variables estudiadas no son necesariamente ciertas en el futuro.

2.4.2.3 Proceso de la previsión

El proceso de la previsión se puede dividir en las siguientes partes:

- **Definición del problema.** En primer lugar hay que determinar el propósito y las suposiciones para la previsión.
- **Reunión de datos básicos.** Investigar varias fuentes para los datos básicos. Estudiar el crecimiento de población y el económico. Son esenciales los resultados de las últimas previsiones.
- **Elección del método de previsión.** Elegir el método más adecuado con arreglo a la información disponible y la exactitud requerida.
- **Análisis y establecimiento de las previsiones.** El análisis consiste en la preparación metodológica de los datos básicos y la evaluación de los resultados obtenidos.

- **Documentación.** La previsión ha de presentarse en un formato que se entienda con facilidad. El resultado debería incluir previsiones alternativas. Además de la previsión más probable, debería incluir una optimista y otra pesimista, para indicar de esta forma al planificador donde pueden estar los límites superior e inferior.

3. CONCEPTOS ECONÓMICOS PARA PLANIFICAR Y DISEÑAR REDES DE TELECOMUNICACIONES

Este capítulo expone conceptos económicos a tomar en cuenta al momento de planificar y diseñar cualquier red de telecomunicaciones. El fin del mismo es ampliar la visión del ingeniero encargado del diseño de la red en el sentido económico, para que al momento de la evaluación de las alternativas posibles de redes a implementar, no se vea limitado únicamente por los aspectos tecnológicos, si no que previo análisis económico y financiero de las alternativas, pueda encontrar la solución óptima tanto técnica como económica para que ésta se acerque lo mayor posible a la red ideal buscada.

3.1 Conceptos de ingeniería económica aplicados al diseño de redes

3.1.1 Principios para el estudio económico de proyectos

El principio más importante en la ingeniería económica es el hecho de que una cantidad de dinero puede tener una serie de valores equivalentes y potenciales, aunque sólo tenga realmente existencia y valor en un momento determinado. Para definir con precisión una cantidad de dinero debe indicarse su monto con relación a la fecha de estudio.

Esta característica de equivalencia del dinero permite comparar cantidades diferentes expresándolas con relación una misma fecha, o de cualquier otro equivalente con relación al tiempo. Para realizar estas equivalencias de dinero en el tiempo existen ecuaciones matemáticas y tablas de factores que permiten convertir una cantidad de dinero a una fecha cualquiera en una suma equivalente para otra fecha.

Básicamente hay tres tiempos que nos interesan en el estudio económico: el presente, el futuro y periodos de tiempo equivalentes o anualidades, porque es en estos, cuando en los proyecto existen actividades de ingresos (se reciben ganancias), gastos (se hacen pagos por mantenimiento, operación, etc) o se realizan inversiones .

3.1.1.1 Factores de conversión

Es posible traducir cantidades de dinero en cantidades equivalentes con relación a una fecha común determinando su valor presente (VP) o su valor futuro (VF) por medio de factores. Una cantidad única de dinero puede expresarse asimismo como una anualidad. Se entiende por suma de anualidades una serie de pagos anuales.

Para una referencia fácil, las fórmulas empleadas en los cálculos se reúnen en la tabla 3.1

Tabla V. Factores económicos

<i>Encontrar</i>	<i>Dado</i>	<i>Factor</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Fórmula</i>
P	F	$(P/F, i, n)$	$P = F(P/F, i, n)$	$P = F \cdot \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$
F	P	$(F/P, i, n)$	$F = P(F/P, i, n)$	$F = P \cdot (1+i)^n$
P	A	$(P/A, i, n)$	$P = A(P/A, i, n)$	$P = A \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right]$
A	P	$(A/P, i, n)$	$A = P(A/P, i, n)$	$A = P \cdot \left[\frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$
A	F	$(A/F, i, n)$	$A = F(A/F, i, n)$	$A = F \cdot \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$
F	A	$(F/A, i, n)$	$F = A(F/A, i, n)$	$F = A \cdot \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$

Donde: i = tipo de interés
 n = número de período (generalmente años)
 F = valor futuro
 P = valor presente
 A = anualidad

Esta notación es fácil de utilizar para recordar la forma como pueden derivarse los factores. Por ejemplo, el factor A/F puede ser derivado multiplicando las fórmulas de los factores P/F y A/P . En términos de ecuación, esto es,

Ecuación 29

$$A = F(P/F, i, n) \cdot (A/P, i, n)$$

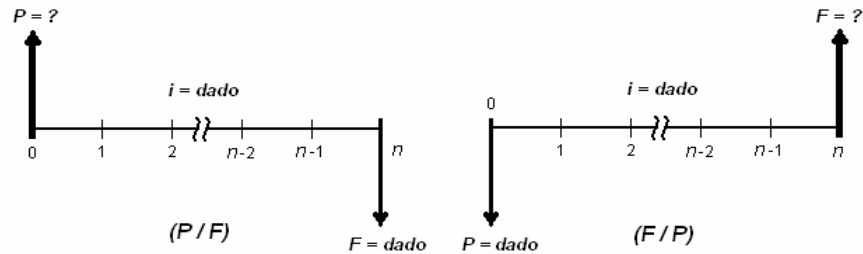
$$= F(A/F, i, n)$$

Con el fin de simplificar los cálculos rutinarios de la ingeniería económica que involucran factores, se han creado tablas de valores de los factores para tasas de interés y periodos de tiempo diferentes, las cuales se pueden encontrar en cualquier texto de ingeniería económica.

3.1.1.2 Uso de los Factores de conversión

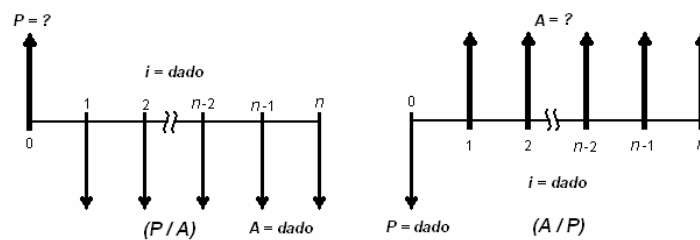
Existen dos factores llamados de pago único: el **valor presente de un pago único** ($P/F, i, n$) y la **cantidad compuesta de un pago único** ($F/P, i, n$). El primer factor determina el valor presente P de una cantidad futura dada, F , después de n años (o periodos) a partir de una inversión *única* con una tasa de interés i compuesta anualmente (o por periodo). Si multiplicamos el segundo factor por P , se produce la suma futura F de una inversión inicial P después de n años a una tasa de interés i . En la figura 6 se detalla el diagrama de flujo de efectivo para estos factores.

Figura 6. Diagrama de flujo de factores de pago único



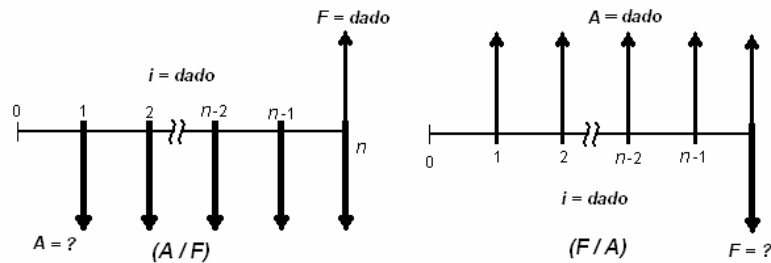
El siguiente grupo de factores esta formado por: el **valor presente de una serie uniforme** $(P/A, i, n)$ y la **recuperación de capital** $(A/P, i, n)$. El primer factor dará el valor presente P de una serie anual uniforme equivalente A que empieza al final del año 1 y se extiende durante n años a una tasa de interés i . El segundo factor produce el valor anual uniforme equivalente A durante n años de una inversión dada P cuando la tasa de interés es i . En la figura 7 se detalla el diagrama de flujo de efectivo para estos factores.

Figura 7. Diagrama de flujo del valor presente de una serie uniforme y de la recuperación de capital.



El último grupo de factores es formado por: el **fondo de amortización** $(A/F, i, n)$ y la **cantidad compuesta de una serie uniforme** $(F/A, i, n)$. El primer factor se utiliza para determinar la serie de valor anual uniforme que sería equivalente a un valor futuro determinado F . El segundo factor al multiplicarse por una suma anual uniforme A dada, produce el valor futuro de la serie uniforme. En la figura 8 se detalla el diagrama de flujo de efectivo para estos factores.

Figura 8. Diagrama de flujo del fondo de amortización y de la cantidad compuesta de una serie uniforme.



Todos los factores descritos anteriormente son importantes y serán buenas herramientas en estudios de factibilidad económica de proyectos únicamente si son utilizados correctamente.

Si se desea hacer un estudio económico para ver cual de las alternativas es más rentable o menos costosa, debemos trasladar todos los ingresos, gastos, inversiones, etc. que se den durante el período de vida útil del proyecto a una fecha específica: al presente o a anualidades, y esto se realiza con los factores y de la forma descrita anteriormente.

Otra regla, sumamente importante, es evaluar los proyectos en periodos de vida iguales, por ejemplo: si la alternativa “A” tiene una vida útil de 3 años y la alternativa “B” tiene una de 4 años, se debe sacar el MCM de las dos y trabajarlas de esa forma, en este caso sería analizar ambas en un período de 12 años. Y se evalúa de la siguiente forma:

- En el año 0 se hace la inversión de las dos alternativas.
- En los años 3, 6 y 9 se hace la reinversión de la alternativa A.
- En los años 4 y 8 se hace la reinversión de la alternativa B.
- Y en el año 12 de culminan las dos alternativas, teniendo la alternativa A tres reinversiones y la alternativa B únicamente dos.

3.1.2 Modelo de depreciación de equipo

3.1.2.1 Introducción

La depreciación es la reducción en el valor de un activo. Los modelos de depreciación utilizan reglas, tasas y fórmulas aprobadas por el gobierno para representar el valor actual en libros de la compañía. El monto de la depreciación D_t , calculado de ordinario en forma anual, no refleja necesariamente el patrón del uso real del activo durante su posesión.

A continuación se definen algunos términos comúnmente utilizados en este tema:

- **Costo inicial.** Es el costo instalado del activo que incluye el precio de compra, las comisiones de entrega e instalación y otros costos directos depreciables en los cuales se incurre a fin de preparar el activo para su uso.
- **Valor en libros.** Representa la inversión restante, no depreciada en los libros contables después de que el monto total de cargos de depreciación a la fecha han sido estados de base.
- **Periodo de recuperación.** Es la vida depreciable, n , del activo en años para fines de depreciación. Este valor puede ser diferente de la vida productiva estimada debido a que las leyes gubernamentales regulan los periodos de recuperación y depreciación permisibles.
- **Valor de mercado.** Es la cantidad estimada posible si un activo fuera vendido en el mercado abierto.
- **Tasa de depreciación o tasa de recuperación.** Es la fracción del costo inicial que se elimina por depreciación cada año. Esta tasa, d_t puede ser la misma cada año o puede ser diferente para cada año del periodo de recuperación.

- **Valor de salvamento.** Es el valor estimado de intercambio o de mercado al final de la vida útil del activo.

3.1.2.2 Depreciación en línea recta (LR)

El modelo en línea recta es un método de depreciación utilizado como el estándar de comparación para la mayoría de los demás métodos. Obtiene su nombre del hecho de que el valor en libros se reduce linealmente en el tiempo puesto que la tasa de depreciación es la misma cada año, es 1 sobre el periodo de recuperación. Por consiguiente, $d = 1/n$. La depreciación anual se determina multiplicando el costo inicial menos el valor de salvamento estimado por la tasa de depreciación d , que equivale a dividir por el período de recuperación n .

Ecuación 30

$$D_t = (B - VS) \cdot d$$

$$= \frac{B - VS}{n}$$

donde

- t = año ($t = 1, 2, \dots, n$)
- D_t = cargo anual de depreciación
- B = costo inicial o base no ajustada
- VS = valor de salvamento estimado
- d = tasa de depreciación (igual para todos los años)
- n = periodo de recuperación o vida depreciable esperada.

Dado que el activo se deprecia por la misma cantidad cada año, el valor en libros después de t años de servicio, el valor en libros VL_t , será igual a la base no ajustada o costo inicial B menos la depreciación anual multiplicada por t , es decir la depreciación total acumulada.

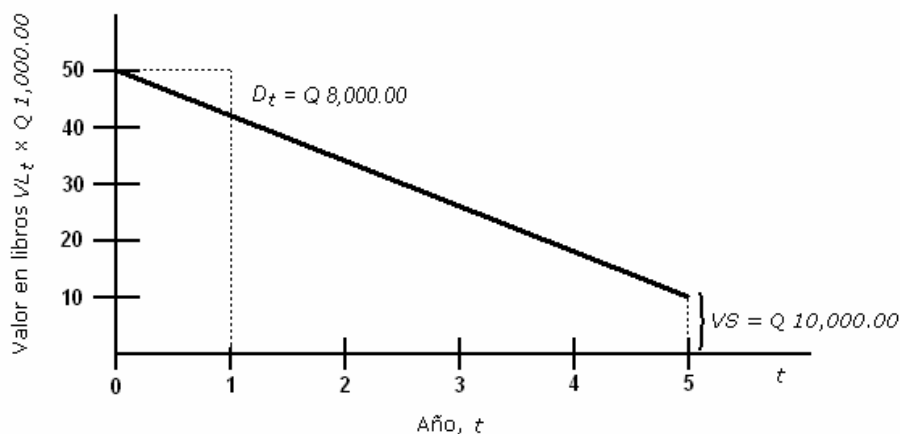
Anteriormente se definió d_t como la tasa de depreciación para un año específico t . No obstante, el modelo de depreciación en línea recta (LR) tiene la misma tasa para todos los años, es decir,

Ecuación 31

$$d_t = \frac{1}{n}$$

El modelo de depreciación en línea recta (LR) normalmente es ilustrado como se presenta en la figura 3.4, en la cual se muestra el valor en libras de un activo en cada determinado año y con un valor de salvamento al final del periodo. El activo, tomado como ejemplo, tiene un costo inicial de Q 50,000.00 con un valor de salvamento estimado en Q 10,000.00 después de 5 años.

Figura 9. Gráfica del valor en libras de un activo depreciado.



La importancia del estudio de la depreciación de activos en el diseño de redes de telecomunicaciones radica en que la mayoría de los equipos son activos fijos y como parte del estudio económico es necesario incluir los gastos de depreciación esto por dos motivos importantes.

El equipo al estar siendo depreciado periódicamente nos disminuye el pago del impuesto sobre la renta, lo cual al final reduce los gastos de mantenimiento y operación de la red.

Al concluir el periodo de vida útil de la red podemos recuperar parte de la inversión si se pueden vender los equipos depreciados. La diferencia del precio de venta a valor de mercado y el valor de salvamento es una utilidad neta más al proyecto.

3.1.3 Flujo de efectivo

Los flujos de efectivo se describen como las entradas y salidas reales de dinero. Toda persona o compañía tiene entradas de efectivo: recaudos e ingreso (entradas) y desembolsos de efectivo: gastos y costos (salidas). Estas entradas y desembolsos son los flujos de efectivo, en los cuales las entradas de efectivo se representan en general con signo positivo y las salidas con signo negativo. Los flujos de efectivo ocurren durante periodos de tiempo específicos, tales como un mes o un año.

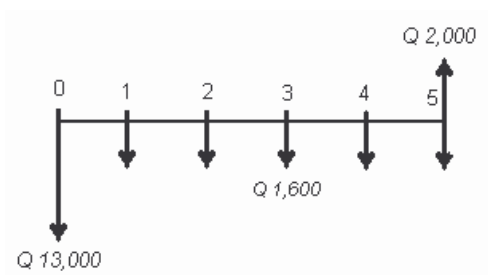
Un diagrama de flujo de efectivo es simplemente una representación gráfica de los flujos de efectivo trazados en una escala de tiempo.

Por ejemplo considérese el siguiente proyecto: Un inversionista compra equipo por Q 8,000, se estima que se tiene un gasto anual de Q 1,600 por operación y mantenimiento, y se determina que el equipo tiene una vida útil de 5 años, después de este periodo el equipo tiene un valor de salvamento de Q 2,000. En la tabla 3.2 y figura 3.5 se detalla el flujo y el diagrama de efectivo del proyecto respectivamente.

Tabla VI. Flujo de efectivo del proyecto.

Año	Entradas	Salidas	Flujo de efectivo
0		Q -13,000.00	Q -13,000.00
1		Q -1,600.00	Q -1,600.00
2		Q -1,600.00	Q -1,600.00
3		Q -1,600.00	Q -1,600.00
4		Q -1,600.00	Q -1,600.00
5	Q 2,000.00	Q -1,600.00	Q 400.00

Figura 10. Diagrama de flujo de efectivo del proyecto.



3.1.4 Retorno de inversión

Para que cualquier inversión sea rentable, el inversionista debe esperar recibir más dinero de la suma invertida. En otras palabras, debe ser posible obtener una tasa de retorno o un retorno sobre la inversión. Durante un determinado periodo de tiempo, la tasa de retorno (TR) se calcula como:

Ecuación 32

$$TR = \frac{\text{Suma actual} - \text{inversión original}}{\text{inversión original}} \times 100\%$$

El numerador puede llamarse utilidad, ingreso neto, o muchos términos diversos. El término tasa de retorno se utiliza comúnmente cuando se estima la rentabilidad de una alternativa propuesta o cuando se evalúan los resultados de un proyecto o inversión.

Las alternativas de inversión de los proyectos se evalúan sobre el pronóstico de que puede esperarse una TR razonable. Alguna tasa razonable debe, por consiguiente, ser establecida y utilizada en la fase de criterios de selección del enfoque de estudio de ingeniería económica. La tasa razonable se denomina tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) y es más alta que la tasa esperada de un banco o alguna inversión segura que comprenda un riesgo mínimo de inversión. También se hace referencia a la TMAR como la tasa base para proyectos; es decir, para que un proyecto sea considerado financieramente viable, la TR esperada debe igualar o exceder la TMAR o tasa base.

3.1.4.1 Cálculo de TR para proyecto único

En la sección anterior se explico el método para calcular la tasa de retorno sobre una inversión cuando solamente hay un factor de ingeniería económica involucrado. En el caso de un proyecto, existe más de un factor involucrado a evaluar.

Para determinar la tasa de retorno i de los flujos de efectivo de un proyecto, se deben definir la relación TR. El valor presente de las inversiones o desembolsos, VP_D se iguala al valor presente de los ingresos, VP_R . En forma equivalente, los dos pueden restarse e igualarse a cero. Es decir,

Ecuación 33

$$VP_D = VP_R \quad .$$

$$0 = -VP_D + VP_R$$

El enfoque de valor anual utiliza los valores VA en la misma forma para resolver para i .

Ecuación 34

$$VA_D = VA_R$$
$$0 = -VA_D + VA_R$$

El valor i que hace estas ecuaciones numéricamente correctas es la raíz de la relación TR. Se hace referencia a este valor i mediante otros términos adicionales a la tasa de retorno: tasa interna de retorno (TIR), tasa de retorno de equilibrio, índice de rentabilidad y retorno sobre la inversión (RSI). Éstos se representan por la notación i^* (i estrella).

Existen dos métodos para la evaluación de la tasa de retorno en un proyecto:

- Cálculo de la tasa de retorno utilizando una ecuación de valor presente.
- Cálculo de la tasa de retorno utilizando una ecuación de valor anual.

3.1.4.1.1 Cálculo de la TR utilizando una ecuación de valor presente.

En este método se utiliza una ecuación de valor presente como base para calcular la tasa de retorno sobre una inversión del proyecto. En los cálculos de la tasa de retorno, el objetivo es encontrar la tasa de interés i^* a la cual la cantidad presente y la cantidad futura son equivalentes.

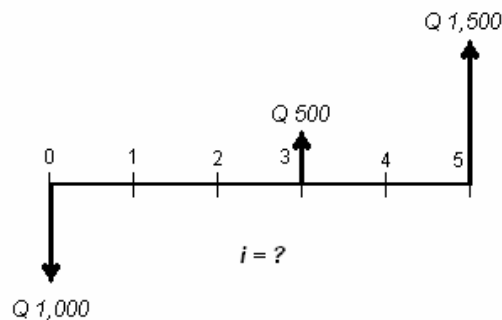
La columna vertebral del método de la tasa de retorno es la relación TR. Por ejemplo si alguien invierte Q 1000 en un proyecto ahora y le prometen un pago de Q 500 dentro de tres años y otro de Q 1500 en cinco años a partir de ahora, la relación de la tasa de retorno utilizando VP es:

Ecuación 35

$$1000 = 500(P/F, i^*, 3) + 1500(P/F, i^*, 5) \quad .$$
$$0 = -100 + 500(P/F, i^*, 3) + 1500(P/F, i^*, 5)$$

La ecuación anterior aplica la forma general de la ecuación 32, que será utilizada en la fijación de todos los cálculos de la tasa de retorno basados en valor presente. La ecuación se resuelve para i y se $i^* = 16.9\%$. Puesto que, en general, en un proyecto dado, hay entradas y desembolsos involucrados, puede encontrarse un valor de i^* ; además, la tasa de retorno siempre será mayor que cero si la cantidad total de los ingresos es mayor que la cantidad total de los desembolsos, cuando se considera el valor del dinero en el tiempo. La siguiente gráfica detalla el flujo de efectivo del ejemplo desarrollado.

Figura 11. Flujo de efectivo para el cual debe determinarse un valor de i .



Por tanto, para los cálculos TR se puede escoger VP, VA, o cualquier otra ecuación de equivalencia. En general, es mejor acostumbrarse a utilizar uno solo de los métodos con el fin de evitar errores. Si i^* se determina utilizando una hoja de cálculo, es muy probable que sea aproximada con los cálculos basados en VP y no el los basados en VA.

3.1.4.2 Evaluación de tasa de retorno para alternativas múltiples de proyectos

Para poder evaluar la tasa de retorno de para varias alternativas se requieren dos elementos: una serie incremental del flujo de efectivo y un MCM de las alternativas a estudiar:

Para evaluar dos alternativas se realiza el siguiente procedimiento:

1. Ordenar las alternativas por tamaño de la inversión inicial empezando con la más baja. La alternativa con la inversión inicial más alta esta en la columna rotulada B en la tabla 3.3
2. Desarrollar el flujo de efectivo y las series incrementales del flujo de efectivo utilizando el MCM de años, suponiendo la reinversión en alternativas.
3. Dibujar un diagrama de flujo de efectivo incremental (como ayuda gráfica)
4. Establezca la ecuación VP para los flujos de efectivo incrementales en la forma de la ecuación [3.5] y determine el retorno i^*_{B-A} utilizando ensayo y error manual o ingresando los valores del flujo incremental del paso 2 en un sistema de hoja de cálculo para determinar i^*_{B-A} .
5. Si $i^*_{B-A} < \text{TMAR}$, seleccione la alternativa A . Si $i^*_{B-A} > \text{TMAR}$, se justifica la inversión adicional; seleccione la alternativa B .

Por ejemplo, una empresa de telecomunicaciones está considerando la compra de un equipo de transmisión nuevo, cuenta con dos opciones de diferentes marcas presentando cada una de ellas las siguientes características:

Tabla VII. Comparación de características económicas de los dos equipos.

	Marca "N"	Marca "M"
Costo Inicial, \$	13,000	8,000
Desembolsos anuales, \$	1,600	35,000
Valor de salvamento, \$	2,000	0
Vida, años	5	10

Determine cual de los dos equipos debe seleccionarse si la TMAR es de 15% anual.

Solución:

Tabla VIII. Determinación del flujo de efectivo incremental del proyecto.

Año	Flujo de efectivo, Marca "M" (A)	Flujo de efectivo, Marca "N" (B)	Flujo de efectivo, Incremental (B-A)
0	-8,000	-13,000	-5,000
1-5.	-3,500	-1,600	1,900
		2,000	
5	-	-13,000	-11,000
6-10.	-3,500	-1,600	1,900
10	-	2,000	2,000
	<u>-43,000</u>	<u>-38,000</u>	<u>5,000</u>

La ecuación de tasa de retorno basada en el VP de los flujos de efectivo incrementales es:

Ecuación 36

$$0 = -5000 + 1900(P/A, i, 10) - 11000(P/F, i, 5) + 2000(P/F, i, 10)$$

Solucionando la ecuación anterior tenemos que $i^*_{t-S} = 12.65\%$, como la tasa de retorno es de 12.65% y es menor que la TMAR de 15%, debe comprarse el equipo de marca "M" (la de menor costo inicial).

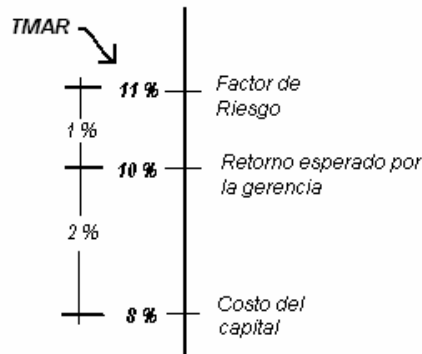
3.1.4.3 Determinación de una tasa mínima atractiva de retorno

En la determinación de una tasa mínima atractiva de retorno influyen esencialmente tres factores que se deben considerar:

- **Costo del capital.** En la mayoría de situaciones, un alto porcentaje de la inversión es financiada por bancos los cuales fijan una tasa de interés por el préstamo, este interés debe ser la base para el establecimiento de la TMAR.
- **El retorno esperado por la gerencia.** Existe una tasa de interés establecida como mínima en toda empresa para poder aprobar la inversión de un proyecto, esta tasa se establece según políticas e intereses de cada empresa.
- **Factor de riesgo agregado.** Cualquier negocio o empresa tiene un nivel de riesgo según sea el tipo de producto o servicio que ofrece, este dependerá directamente del mercado. Si el mercado del producto es seguro, su factor de riesgo será menor, en bancos por ejemplo, el valor del dinero esta asegurado, es por eso que la tasa de interés a recibir es baja, por el contrario si el mercado no es tan seguro, se debe utilizar un factor de riesgo bastante alto.

Tomando en cuenta estos tres factores importantes, podemos decidir nuestra tasa mínima de retorno, en la figura 12 se ilustran estos términos.

Figura 12. Relación de los factores para la estimación de TMAR



3.2 Recurso económico y factor tiempo: criterios de optimización

3.2.1 Generalidades

Un proceso de optimización consiste en escoger aquella solución que mejor cumpla un determinado criterio de optimización, generalmente un criterio económico.

En la mayoría de los casos, el objetivo de planificación de redes es seleccionar la red de mínimo costo que satisfaga una demanda dada con un grado de servicio especificado.

Este objetivo, costo de la red, excluye como objetivos otros factores económicos, como podrían ser beneficios producidos por la red o distribución de capital limitado, limitación de importaciones, etc. En la práctica, estos factores se consideran en forma implícita cuando se analizan diferentes soluciones alternativas, pero no son tratadas habitualmente como un objetivo de la planificación. El primero de ellos, beneficios producidos, porque generalmente son difíciles de cuantificar. El segundo, distribución de capital limitado, es un objetivo muy atractivo para un planificador pero infrecuentemente en los estudios reales.

A estos objetivos, podría añadirse una función multiobjetivo que incluyera todos o parte de los objetivos indicados. Este será el óptimo, si no fuera por la dificultad de manejo de funciones que pueden estar enfrentadas entre sí; la red de mínimo costo no tiene por que ser la que produzca mayores beneficios.

Fijando como objetivo de la planificación el costo mínimo de la red, existen varias formas de expresar estos costos. Existen dos métodos básicos para tratar factores de costos:

- Uso de primeros costos (evaluación directa de inversiones):
Este método considera simplemente los costos incurridos en la adquisición de los equipos y su instalación, sin tener en cuenta ni su vida útil ni su costo de mantenimiento.
- Uso de cargas anuales, o valor presente de cargas anuales, que sí incluirán todos los elementos anteriores.

La elección del método adecuado dependerá del objetivo particular del estudio así como del tipo de modelo considerado.

3.2.2 Tipos de modelos

El factor tiempo es un elemento fundamental en el dimensionado y optimización de la red.

Sin embargo, existen diferentes alternativas para definir el factor tiempo en el criterio de optimización cuando se está modelando un problema. Según ellas, podemos clasificar los modelos en:

- Estáticos
- Dinámicos
- A corto plazo

3.2.2.1 Modelos estáticos

Estos modelos se caracterizan por no considerar explícitamente el parámetro tiempo.

El objetivo de estos modelos es encontrar la red óptima para una demanda dada, o lo que es lo mismo, para una fecha específica, ignorando la evolución de la red.

Para ello, todas las variables implicadas en el modelo deben tomar valores para la fecha especificada.

El problema de estos modelos es cómo representar un problema que es dinámico (las redes evolucionan) mediante modelos estáticos.

Es evidente que estos son mucho más sencillos que los dinámicos y en determinadas ocasiones la solución alcanzada mediante modelos estáticos puede ser suficientemente buena.

El procedimiento de resolución, será la subdivisión del período de estudio (por ejemplo año 0, 5, 10, 15 para un estudio a 15 años), y la búsqueda de soluciones estáticas para esos cortes en el tiempo.

Evidentemente, debemos considerar una cierta relación entre dichas soluciones estáticas: por ejemplo, la solución para el año 10 debe considerar como una restricción, la solución alcanzada en el año 5 en caso de un estudio de la evolución de red actual, o las soluciones alcanzadas para el año 15 en el estudio contrario, fijar primero la red final y decidir la evolución hacia ella.

En cualquier caso, la validez de estos procedimientos depende básicamente de dos factores, el crecimiento de la red y los cambios previsibles de estructura. El primero influye de una manera directa. De hecho, si la red no creciera, la solución estática coincidiría con la dinámica cuando la red no cambiara de estructura.

Respecto al segundo factor, la solución óptima de la red debería incluir el análisis de cambio en la estructura de la red, cuando la estructura vieja esté formada por equipos obsoletos o viejos que deban ser sustituidos o cuando los equipos nuevos tengan diferentes características de las existentes por ejemplo, introducción de tecnología digital en redes analógicas.

La conclusión de lo anterior es que podrán utilizarse directamente modelos estáticos para aquellos casos en que los crecimientos sean lentos (redes cerca de su nivel de saturación) y no se esperen cambios en la estructura de la red.

Estos modelos también serán adecuados para aquellos estudios a muy largo plazo en que se intenta definir una estructura objetivo.

En los casos de crecimiento continuado de demanda o estudios a medio plazo, el uso de estos modelos estáticos requerirá métodos iterativos de reconsideración de soluciones y evaluaciones creadas de ellos.

Para estos modelos, los métodos de costos utilizados son:

- Primeros costos (PC), cuando se trate de optimizar inversiones iniciales.
- Cargas anuales (CA), cuando se desee incluir los efectos de las amortizaciones de los equipos y gastos periódicos como pueden ser costos de mantenimiento y operación.

Generalmente, se prefiere este segundo método para los modelos estáticos, ya que nos permite introducir el factor vida útil del equipo y considerar los gastos incurridos por operación.

3.2.2.2 Modelos dinámicos

En oposición a modelos estáticos, los dinámicos se caracterizan por considerar explícitamente el factor tiempo.

Su objetivo es encontrar la evolución óptima de la red, a lo largo de un período de estudio a partir de la situación actual.

Los modelos dinámicos pueden plantearse de dos formas diferentes atendiendo a la red objetivo final:

- **Modelos de horizonte definido.** Son aquellos en los que el estado de la red final del período de estudio ha sido definido a priori mediante un estudio estático. El objetivo de este proceso es determinar la evolución óptima de la red desde su estado actual hasta la red objetivo definida para el final de período.
- **Modelos de horizonte indefinido.** Se caracterizan porque la red al final del período de estudio no está definida a priori sino que es resultado del estudio dinámico.

Estos modelos representan mejor el problema de las redes reales, sin embargo son más difíciles de resolver. Debemos buscar un equilibrio entre precisión y complejidad de solución.

Un problema importante en estos estudios es el conocimiento de la longitud del periodo de estudio. Debe estar definido al comenzar el estudio. Por una parte, debe ser suficientemente largo para cubrir el período óptimo de llenado de cada equipo considerado, pero no tan largo que nos impida obtener previsiones fiables de demanda así como previsiones de tecnología disponibles y sus costos. Típicamente, se suelen considerar periodos de estudio entre 10 y 20 años.

Es interesante señalar, que para redes con fuertes crecimientos cercanos al momento actual deben escogerse períodos de estudio más cortos, ya que los períodos óptimos del llenado también son más cortos.

Otro problema en este tipo de modelos, independientemente de la longitud del periodo de estudio, es la dificultad de definir las últimas instalaciones.

Esto se hace habitualmente basándose en presunciones de comportamiento de la red posteriormente al final del período señalado de estudio.

Dependiendo de las características de la red en estudio dos hipótesis básicas suelen ser consideradas:

- Crecimiento nulo tras el final de periodo de estudio.
- Uniformidad de crecimiento con la última parte del periodo.

El impacto de la decisión tomada será tanto menor cuanto más largo sea el período considerado.

El método de costeo adecuado para estos modelos es el Valor Actual de Cargas Anuales (VACA) o de primeros costos (VAPC). Generalmente, el primero de ellos suele ser elegido debido a que nos permite considerar todos los costos implicados, sean inversiones iniciales o sean costos recurrentes, la vida útil de los equipos y el efecto del tiempo en las inversiones, y todo ello sobre una base común.

El problema de estos métodos es la selección del período de acumulación de cargas. Una hipótesis frecuentemente utilizada es considerar igual al periodo de estudio.

3.2.2.3 Modelos a corto plazo

El objetivo de estos modelos es encontrar la solución óptima a un problema de red teniendo en cuenta el máximo uso de la red existente.

El período de estudio que cubren estos modelos es el orden de 2 a 4 años pero suelen incluir una ponderación aproximada de las soluciones a largo plazo, obtenida quizás de la aplicación de los otros modelos, con el fin de incrementar la calidad de los resultados obtenidos.

Los modelos a corto plazo permiten considerar en forma detallada diversos aspectos de los problemas que deben ser limitados en los otros modelos debido a la complejidad que introducen en los algoritmos de solución.

El criterio de costo adecuado para este tipo de modelos es Valor Actual de Cargas Anuales (VACA) y menos frecuentemente el Valor Actual de Primeros Costos (VAPC).

3.3 Proveedores: compra vrs. renta de equipo

En la adquisición de los equipos que conforman la red de telecomunicaciones existen ciertos componentes que pueden ser comprados o arrendados, el objetivo de esta sección es poder orientar sobre cómo evaluar cual de las dos opciones es más conveniente tomar. En algunas situaciones es mucho mejor únicamente arrendar el equipo por un periodo de tiempo, que realizar el desembolso completo para su compra.

Como se describió en la sección 3.1, para realizar cualquier análisis económico lo más conveniente y correcto es evaluar las alternativas en una fecha específica común, para poder evaluar realmente el valor del dinero no importando el tiempo en el cual se realicen los desembolsos.

El método utilizado para evaluar estas opciones de compra o renta consiste en convertir todos los pagos de arrendamiento a un solo pago único con valor presente y así compararlo con el valor que se debe pagar si es comprado el equipo.

Para que la evaluación sea correcta se debe incluir el valor de salvamento del equipo si éste es comprado, es decir evaluar el valor al cual se podría vender el equipo después del periodo de utilización.

Por ejemplo, se necesita adquirir un equipo de transmisión cuyo precio es Q 90,000.00 para un proyecto con un período de vida de 6 años, la empresa proveedora tiene la opción de la renta del equipo por una cantidad de Q 15,000.00 anuales, según el fabricante, el equipo tiene una vida útil de 8 años. Tomando la tasa de interés del 8% anual ofrecida por el banco. ¿Qué opción es más rentable?

Solución:

Para analizar la opción de compra, debemos tomar en cuenta que después de terminado el periodo del proyecto este equipo tiene 2 años más de vida útil, lo cual nos servirá para calcular el valor de salvamento, tomando en cuenta la depreciación linealmente:

Ecuación 37

$$\text{Depreciación anual del equipo} = \frac{90,000}{8} = Q 11,250 \times \text{año}$$

Ecuación 38

$$\text{Valor de salvamento} = Q 90,000 - (6 \times Q 11,250) = Q 22,500$$

Trasladando el valor de salvamento a un valor presente:

Ecuación 39

$$\begin{aligned} \text{V. P. de salvamento} &= Q 22,500 \times \left[\frac{1}{(1+0.08)^6} \right] \\ &= Q 22,500 \times 0.6302 \\ &= Q 14,179.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V. P. de Compra &= Q 90,000 - Q 14,179.5 \\ &= Q 75,820.5 \end{aligned}$$

Ahora analizamos la opción de renta, para esto trasladamos todas las anualidades a un valor presente:

Ecuación 40

$$\begin{aligned} V. P. de anualidades &= Q 15,000 \times \left[\frac{(1+0.08)^6 - 1}{0.08 \times (1+0.08)^6} \right] \\ &= Q 15,000 \times 4.6229 \\ &= Q 69,343.5 \end{aligned}$$

Como podemos ver aún cuando aparentemente nos da lo mismo si compramos o rentamos, porque al multiplicar las 6 anualidades de Q 15,000.00 da una cantidad de Q 90,000 quetzales, valor del precio de compra del equipo. Sin embargo si tomamos en cuenta que podemos tener un valor de salvamento si compramos el equipo, podemos equívocamente seleccionar la opción de compra porque aparentemente tendremos una recuperación de nuestro capital.

Pero es hasta después de realizar un análisis económico, en el cual trasladamos todas las salidas y entradas de dinero a un valor presente, que podemos ver realmente cual es la opción mas conveniente, siendo en esta ocasión la renta del equipo ya que nos ahorraremos una cantidad aproximada de Q 6,477.00.

3.4 Modelos económicos de redes de telecomunicaciones

Los modelos económicos de telecomunicaciones han sido diseñados para estimar los costos de proyectos de redes con una vida útil apreciable. Estos modelos son suficientemente versátiles para modelar cualquier tipo de red en proyecto.

Existen ciertos datos de entrada conocidos como información geográfica del sistema cuyo objetivo es unir datos físicos, demográficos y los requerimientos de demanda de los subscriptores del lugar los cuales son utilizados en los modelos económicos.

Los modelos económicos de telecomunicaciones son modelos abiertos. El proceso completo de modelado económico tiene aproximadamente 1,700 variables, es por este motivo que el proceso se torna bastante complejo, pero existen ciertas variables que tienen un mayor peso al momento del diseño y planificación de redes. Es criterio del diseñador determinar el nivel de detalle con el que desea analizar este tipo de proyectos.

Los modelos económicos brindan una gran extensión de aplicaciones potenciales entre las que cabe mencionar:

- Estimar costos por provisión de servicios universales.
- Identificar las áreas de alto costo.
- Valorar paquetes de elementos.
- Determinar tarifas.
- Desarrollar o validar planes de negocio.
- Desarrollar o comprobar la racionalidad de contratos individuales valorando los arreglos.

3.4.1 Parámetros fundamentales de modelos económicos

Como mencionamos previamente existe alrededor de 1,700 variables que pueden ser tomadas en cuenta en un modelo económico de telecomunicaciones, sin embargo existen ciertos parámetros fundamentales que son indispensables porque influyen determinantemente en el análisis, siendo estos: tipo de costo económico, tipos de usuarios y servicios, porción del mercado, la infraestructura, la tecnología del alimentador.

3.4.1.1 Tipos de costos económicos

Utilizando los mismos datos o variables podemos comparar y contrastar una amplia variedad de resultados de costo según la interpretación que les demos a los datos basados en los diferentes conceptos de costos económicos.

Existen cuatro categorías en modelos de estimación de costos económicos para servicios de telecomunicaciones: Costo incremental a largo plazo por servicio total, costo autosuficiente, costo marginal por un servicio a largo plazo, y costo total a largo plazo. Para los elementos no compactados de la red, se desarrollan otras dos categorías: Costo incremental a largo plazo por elemento total y costos marginales por un elemento a largo plazo.

- **Costo incremental a largo plazo por servicio total (*Total Service Long Run Incremental Cost (TSLRIC)*)** Este es el costo total de la empresa para producir todos sus servicios incluyendo el servicio (o grupo de servicios) en cuestión, menos el costo del total de la empresa de producir todos sus servicios excluyendo el servicio (o grupo de servicios) en cuestión.

Este costo permite calcular el costo adicional incurrido cuando una red se extiende (o contrae) para servir (o no servir) un bloque específico de clientes, una zona geográfica en particular, un servicio específico, o virtualmente cualquier combinación de clientes específicos, zonas y servicios. El TSLRIC puede ser útil en la política pública y en la toma de decisiones. Por ejemplo, las estimaciones del TSLRIC pueden indicar la presencia o ausencia de subsidios por un servicio específico o un grupo de clientes en el agregado. También, los costos incrementales pueden ser útiles en el desarrollo o políticas de valorización aplicables a un servicio particular o grupo de clientes. Los resultados del TSLRIC deben ser interpretados con cuidado: los costos comunes entre redes deben ser excluidos de las estimaciones de TSLRIC, estos costos también deben ser considerados en el proceso de valorización, si los costos totales serán recuperados.

- **Costo independiente a largo plazo (*Long run stand-alone cost (LRSAC)*)** La selección de una categoría de mercado estrecha causará que el modelo construya una red que sirva las situaciones específicas de esos clientes y con los medios satisfacer exclusivamente sus necesidades. En contraste, si se selecciona un grupo más amplio de clientes causará que el modelo construya una red más grande, más extensa que sirva a todos y sólo a los miembros de las categorías combinadas. Por ejemplo, cuesta más servir varios grupos de clientes que servir exclusivamente un grupo. Sin embargo, cuando los costos totales se reiteran en una base por-unidad, la media de los costos resultantes tiende a ser inversamente proporcional a la extensión del proyecto.

Es decir, las economías de alcance tienden a reducir el costo por-unidad cuando un cliente diferente se agrupa o se le proporcionan los servicios sobre la misma red. La consideración de este modelo de costo es útil en el establecimiento de los techos de precios razonables.

- **Costo marginal por un servicio a largo plazo (*Long run marginal cost for a service (LRMCS)*)** Un estudio de costos marginales propiamente aplicado se enfoca en el efecto de cambios muy pequeños en rendimiento que ocurren en el punto de la curva del costo total en el que la empresa opera y toma decisiones. En las aplicaciones prácticas, sin embargo, es difícil aislar significativamente el costo de un cambio mínimo (por ejemplo, la pérdida o adición de un suscriptor a la red). El costo marginal es medido por la estimando de la pendiente de la curva del costo total sobre un intervalo discreto (una porción pequeña de la curva del costo total global). El LRMCS puede ser útil en la predicción del límite más bajo del precio en un mercado intensamente competitivo. Este estudio también ayuda a responder preguntas sobre el incremento de ganancia de producción de una empresa- es decir, ¿a qué precio la renta marginal iguala al costo marginal? También puede ser útil estableciendo el precio de piso para los servicios específicos bajo un precio-capping o el régimen de regulación de precio alternativo.
- **Costo total a largo plazo (*Long run total cost (LRTC)*)** Esta categoría permite computar el costo total de una red que sirve todas las categorías de clientes y todos los servicios en todas las zonas geográficas de la red.

- **Costo incremental a largo plazo por elemento total (*Total element long run incremental cost (TELRIC)*)** El TELRIC de cada elemento no adjuntado a la red es determinado aislando los costos específicos asociados con los elementos particulares de red dentro del contexto de una red que proporciona todos los servicios a todos los clientes y las zonas geográficas. En la mayoría de los casos, el TELRIC puede calcularse simplemente identificando el elemento de la red al cual un costo específico está relacionado. En casos menores (por ejemplo, el costo del edificio), es necesario acudir a un procedimiento de asignación, tomando en cuenta que el costo es compartido por dos o más elementos (por ejemplo, nodos y conmutadores), ese TELRIC debe incluir una porción asignada de estos costos. Aparte de estas pequeñas excepciones, el TELRIC es equivalente a la diferencia del costo (establecidas en condiciones por-unidad) entre el rendimiento total de una empresa incluyendo y excluyendo la producción de ese elemento.
- **Costo marginal de un elemento a largo plazo (*Long-run marginal cost of an element (LRMCE)*)** Considerando que un estudio de TELRIC toma al costo total y lo convierte en un costo por unidad para los elementos individuales de la red, un estudio de LRMCE calcula la proporción de cambio en el costo del total como el volumen de cambios de elementos de red. Este estudio ayuda a conocer cómo una empresa puede fijar el precio de los elementos de red si fuera permitido seguir una estrategia de maximización de rentabilidad--es decir, ¿a qué precio la renta marginal iguala al costo marginal? Para los reguladores, el LRMCE puede ser útil en el establecimiento de un precio de piso.

3.4.1.2 Tipos de usuarios y servicios

Una vez se ha seleccionado el tipo general de costo económico, seleccionamos los tipos de usuarios de la red, es decir, establecer el tipo servicios que demandarán los usuarios a cubrir por ejemplo un determinado mercado quizá prefiere pagar una cantidad fija por un servicio de tiempo ilimitado, muy por el contrario otros usuarios pueden preferir el pago del tiempo del servicio utilizado únicamente.

Otros aspectos importantes a considerar son: la estimación del tráfico cursado que se espera por usuario y la frecuencia esperada de la utilización de los servicios de la red por parte de los usuarios.

3.4.1.3 Porción del mercado (*Market share*)

Las economías de escala y alcance pueden causar que los costos por unidad varíen ampliamente con el tamaño de la red. Así como lo mercados de telecomunicaciones se hacen más competitivos, así también se hace más importante considerar como los costos de portadoras son relacionados con la porción de mercado tanto como con el alcance geográfico.

Es necesario determinar el porcentaje de la población que se pretende alcanzar como usuarios de la red porque esto influye directamente en los costos de la misma. Por ejemplo, es obvio que si el porcentaje de mercado que se pretende alcanzar es el 25% generalmente se traducirá en costos por unidad sustancialmente mas altos que si el porcentaje fuera 100% aunque todos los demás factores se mantengan iguales. Por ejemplo el costo es casi el mismo si se instala suficiente cable para servir a cada cuatro casas a lo largo de una calle que el instalar el suficiente cable para servir cada casa.

Los modelos económicos permiten analizar de una forma muy precisa fenómeno descrito y observar la dimensión a la que los costos se incrementan en función del decremento en el porcentaje del mercado cubierto.

Para minimizar el impacto adverso de este fenómeno, se pueden considerar otras variables: el tipo de usuarios y la localización geográfica. Por ejemplo, no es lo mismo tener cobertura en un área con mercado de negocios que en un mercado residencial.

3.4.1.4 Tecnología del alimentador

Los lazos del suscriptor son canales de red individuales que conectar al usuario final con la oficina central, esto es, cada lazo utiliza un canal de alimentador, uno canal de distribución y el canal final hacia el usuario. Estas tres partes de la red deben ser analizadas separadamente. El alimentador incluye varios segmentos que conectan al cuadro de distribución principal en la oficina central con interfaces alimentador/distribución localizadas a través de los centros de servicio del área. La ubicación de estas interfaces es determinada por el patrón de dispersión de los usuarios.

3.4.1.5 Gastos de mantenimiento y operación

Los factores específicos de gastos de planta permiten estimar los gastos anuales de mantenimiento y operación asociados a las plantas de telecomunicaciones. Estos gastos son generalmente expresados como un porcentaje de la inversión total del proyecto. Estos gastos por ser anualidades deben ser tratados como se explico en la sección 3.1.1.2 para que se pueda ver el verdadero precio de estos gastos en el proyecto.

3.4.1.6 Inversión de infraestructura y equipo

Los valores de inversión para edificios, terrenos, equipo y otros misceláneos son derivados de variables con componentes fijos (por oficina central) y variables (por línea). Los edificios, terrenos y equipos son organizados como inversiones para conmutadores específicos o para conmutadores no específicos.

De los tres activos detallados como inversión anteriormente, dos de ellos están sujetos a depreciaciones anuales por desgaste de uso, estos son: edificios y equipos. Aunque ambos tienen una depreciación implícita, estas no tienen el mismo comportamiento, el equipo por ejemplo durará probablemente la vida útil del proyecto mientras que los edificios pueden tener una vida útil de tres o hasta cuatro veces la vida del proyecto.

Para obtener realmente la rentabilidad del proyecto es necesario distribuir anualmente el gasto de la inversión inicial de estos activos durante la vida útil del proyecto y no considerarlo como un gasto al inicio del proyecto porque de esta forma no se puede evaluar acertadamente la utilidad que tiene el mismo anualmente.

3.4.1.7 Tráfico de otras redes

El tráfico terminado en otras redes tiene un precio, si el tráfico generado por un usuario de nuestra red termina en otra red, debemos pagar un costo al otro proveedor de servicio por la utilización de su red, a igual que si un usuario de otros proveedores terminan su tráfico en un usuario de nuestra red, tenemos derecho de recibir una determinada cantidad por utilización de nuestra red.

Este otro parámetro es importante incluirlo en el modelo económico de la red ya sea como ingresos o salidas de dinero, según sea el caso. Generalmente se realiza una estimación aproximada de estos valores para efectos de planificación económica, tomando como base la cantidad de usuarios de nuestra red y la de otros proveedores que son potenciales usuarios de ambas redes.

3.4.2 Modelo económico de telefonía celular

En un modelo económico de telefonía celular se deben incluir los siguientes parámetros de ingresos que se obtendrán al implementar la red: Ingresos por usuario y tráfico de otras redes y en los parámetros de egresos de efectivo el costos de infraestructura, costos de mantenimiento, costos operativos y el tráfico de otras redes.

Para determinar los ingresos por usuario es necesario conocer la porción del mercado alcanzado y el deseado, el tiempo en minutos aproximado de tráfico cursado por usuario y el costo por minuto de tráfico cursado. Al conocer estos tres parámetros debemos multiplicarlos para obtener el ingreso total de usuarios.

Al final podemos tabular todos estos parámetros y crear una tabla de flujo de efectivo como se describe en la sección 3.1.3 siguiendo las reglas de evaluación de proyectos enunciados en la parte final de la sección 3.1.1.2. Para una mejor apreciación de este proceso podemos observar la evaluación completa de un proyecto de telefonía celular en el apéndice.

3.4.3 Modelo económico de telefonía fija alámbrica

El modelo económico de una red de telefonía fija alámbrica utiliza los mismos parámetros que un modelo económico de telefonía celular, la diferencia radica esencialmente en la tecnología que ambas redes utilizan y la porción de mercado que ambas redes cubren.

3.4.4 Modelo económico de transmisión de datos

El modelo económico de una red datos incluye un nuevo parámetro, este es el ancho de banda que se le proporciona al usuario, es decir, en este modelo económico no se utiliza el término ingresos por usuario, en su lugar utilizamos el concepto de ingresos por servicio, en un principio cuando se introdujo el servicio de Internet en nuestro país se realizaba por medio de una línea telefónica fija por medio de un MODEM esto permitía realizar los cargos en base al tiempo de conexión, actualmente se utiliza una tarjeta de ethernet normalmente para la conexión y el cobro se hace en base al ancho de banda que se le proporcione al usuario.

El proceso de la creación del modelo es el mismo que el de la creación de un modelo de telefonía fija con la diferencia que ahora los ingresos no serán determinados por los usuarios si no por la cantidad de servicios que se proporcionen.

Básicamente existen dos tipos de redes de datos en la actualidad, las redes privadas y las redes públicas.

3.4.4.1 Redes privadas

Una red privada es una red de comunicaciones privada construida, mantenida y controlada por la organización a la que sirve. Como mínimo una red privada requiere sus propios equipos de conmutación y de comunicaciones. Puede también, emplear sus propios servicios de comunicación o alquilar los servicios de una red pública o de otras redes privadas que hayan construido sus propias líneas de comunicaciones.

Aunque una red privada es extremadamente cara, en compañías donde la seguridad es imperante así como también lo es el control sobre el tráfico de datos, las líneas privadas constituyen la única garantía de un alto nivel de servicio. Además, en situaciones donde el tráfico de datos entre dos puntos remotos excede de seis horas al día, emplear una red privada puede ser más rentable que utilizar la red pública.

3.4.4.2 Redes públicas

Las redes públicas son los recursos de telecomunicación de área extensa pertenecientes a las operadoras y ofrecidos a los usuarios a través de suscripción. Estas operadoras incluyen a: compañías de servicios de comunicación local, compañías de servicios de comunicación a larga distancia y proveedores de servicios de valor añadido.

3.4.5 Modelo económico de servicios por demanda

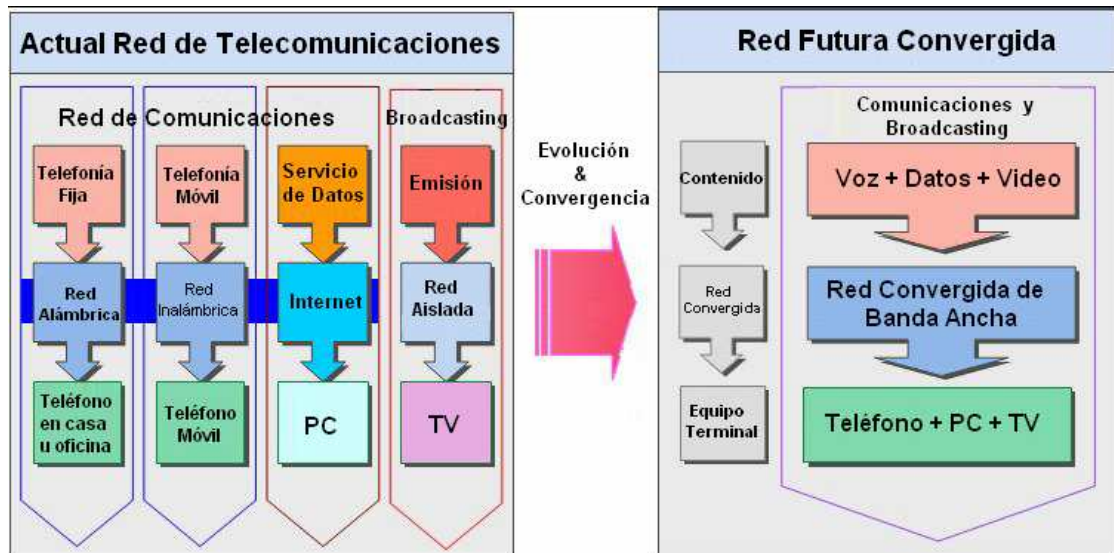
Estas son las redes de telefonía que se encuentran en lugares públicos, a disposición de cualquier usuario, la estimación de los ingresos no es más que un aproximado de utilización tomando como base estadísticas de la población que tiene acceso o transita por esos lugares. Para crear su modelo económico nos podemos basar en los factores tomados en cuenta en el modelo de telefonía celular

3.5 La convergencia de redes y el efecto en los modelos económicos.

3.5.1 Definición de convergencia de redes.

La convergencia es un término usado ampliamente en la industria de las telecomunicaciones, pero hasta el día de hoy no hay ningún consenso sobre el concepto de convergencia. La razón de que no exista un consenso, puede provenir de la palabra misma. La convergencia connota esencialmente el estado final de un proceso de evolución. Por consiguiente, es probable que el significado exacto de convergencia difiera dependiendo de quién lo use y bajo qué situación. En la industria de las telecomunicaciones, la convergencia se ha usado otras palabras: la convergencia de servicios, la convergencia de equipos terminales, y convergencia de redes. Esto porque, la convergencia ha sido utilizada para describir varias tendencias cambiantes en la industria de las telecomunicaciones. Nosotros nos enfocamos en la convergencia de red. La convergencia de red significa la integración de redes de comunicaciones, como es mostrado en la figura 13.

Figura 13. Concepto de convergencia de redes



La convergencia de red, quizá sea un nombre equivocado porque realmente significa la integración de redes. Actualmente cuatro diferentes redes de comunicaciones operan para cuatro servicios diferentes. El tráfico de diferentes servicios fluye en diferentes redes de transmisión y redes de acceso. Dos redes separadas de telecomunicaciones basadas en tecnología de conmutación de circuitos están operando para los servicios de teléfonos móviles y fijos. Una red de los datos basada en tecnología de conmutación de paquetes proporciona el servicio de Internet a los usuarios. Además, la red de transmisión de comunicación en único sentido ofrece los programas audio y videos a los usuarios. Con el desarrollo de la tecnología, podemos digitalizar todas las señales eléctricas. Debido a la digitalización de todas las señales eléctricas y una nueva tecnología de compresión, incluso la voz y los datos de video que requieren entrega en tiempo real pueden manejarse con la tecnología de conmutación de paquetes. MPLS es una tecnología de paquetes de emisión que está ganando la atención en la industria de las redes como una solución en la entrega de todos los tipos de datos de una red unificada.

Como resultado, en un futuro cercano se proporcionarán todos los tipos de servicios mostrados en la figura 13 en una red de banda ancha de comunicación bidireccional. Esto propiciará una infraestructura común de comunicaciones sobre la cual serán proporcionados todos los tipos de servicios.

3.5.2 Características de la convergencia de redes.

Lo que hace converger a una red no es únicamente su estructura integrada si no que debe poseer las siguientes características:

1. La red convergida es una red de conmutación de paquetes IP-consciente.
2. La red adopta la política de interfaz abierta, basada en que los proveedores pueden desarrollar varios servicios libremente sin preocuparse por la dependencia del hardware. Por consiguiente, también se llama una red multi-servicio.
3. La red convergida apoya varios tipos de equipos terminales a través del acceso inalámbrico. En otros términos, permite a los usuarios disfrutar de los servicios en diferentes ubicaciones.
4. La red convergida hace uso de tecnologías de tráfico avanzado como la asignación de ruta explícita, asignación de ruta basado en limitaciones, y reservación de recurso (ancho de banda). Esta tecnología de tráfico avanzado viene ha ser la base para garantizar la calidad de servicio y tratar los tráficos de forma diferente según sea el deseo de pago de los consumidores.

Para las aplicaciones de tiempo real, debe ser garantizado un nivel alto de servicio referente a prioridad y fiabilidad en la entrega de tráfico, y a cambio los usuarios de servicios de niveles altos deben pagar un precio más alto.

Para los tráficos que no son de tiempo, podría cobrarse precios mas bajos dependiendo de los tipos de servicios y el precio deseado a pagar por los usuarios.

3.5.3 Implicaciones económicas de la convergencia de redes.

La red convergida puede acomodar todos los tipos de servicios y así ser llamada una red del multi-servicio. Las redes actuales son redes mono-funcionales que se dedican a un servicio específico. En el contraste, la red convergida es una red multifuncional en la cual los servicios son entregados. Esta característica de red convergida reduce la especificidad del recurso de la red. Los operadores de la red pueden disfrutar el alcance económico de distribuir los costos comunes en todos los tipos de servicios. Además, si no hay ninguna correlación positiva fuerte entre servicios en la generación de tráfico, la eficacia en el uso de recursos de la red se reforzará porque pueden mitigarse cambios esporádicos, drásticos en el flujo de tráfico en la red hasta cierto punto. Operadores de redes que operan redes convergidas pueden desarrollar varios servicios diferenciados y estructuras de proporciones diferentes que varían según el nivel de calidad de servicio. Esto significa que los recursos de la red se asignarán primero a usuarios que desean pagar más.

Aparecen nuevos servicios que garantizan un cierto nivel de calidad pero cobran un precio muy alto. Por ejemplo, el servicio VoIP (voz sobre IP) puede reemplazar los servicios tradicionales de teléfono fijo y móvil cuando la reservación de recurso y la asignación de ruta explícita son comprendidas en la red convergida. Esto es porque la calidad del servicio de VoIP será comparable al servicio del teléfono tradicional basado en conmutación de circuitos.

3.5.4 Nuevos problemas por la convergencia de redes.

La convergencia de redes dará lugar a muchos problemas que las instituciones de la regulación deben cubrir pronto:

- La red convergida es una red del multi-servicio, por lo que los costos de instalación y mantenimiento de los medios de la red se vuelven costos comunes que deben ser compartidos de algún modo por los proveedores y usuarios. Así como la proporción de costos comunes entre costos totales aumenta y el número servicios aumenta, así también la complejidad de contabilidad hace más compleja.
- Es probable que la convergencia de redes aumente el poder de mercado de operadores de red. Por consiguiente, se intensificará la tendencia de que el más grande se haga más grande y el más pequeño se haga más pequeño. Esta tendencia pondrá a las autoridades de regulación en un dilema porque mientras aumenta el poder del monopolio de operadores de red, las autoridades de regulación no pueden usar la regulación de precio tradicional.
- La apariencia que disfruta una red específica probablemente será intensificada porque el valor de la red depende del número de proveedores conectados a la red específica así como al número de usuarios.
- Cuando la red convergida se vuelve la infraestructura de comunicación básica en una economía, no sería fácil encontrar que una industria o que las utilidades públicas sean más valiosas que la red convergida referente a la economía nacional e internacional.

- Incluso en países pequeños como Guatemala, los operadores de red múltiples operarán redes de banda ancha convergidas. Naturalmente, la interconexión entre las redes convergidas es inevitable. El problema es que las reglas para fijar cargos de interconexión aún bajo no están bien desarrollados. Por consiguiente, el desarrollo de vías para estimar los cargos de interconexión para redes de datos será un problema importante para las autoridades de regulación y operadores de red.

CONCLUSIONES

1. El éxito de las redes de telecomunicaciones es la necesidad básica de todo ser humano de estar en comunicación con otras personas. Motivo por el cual este mercado se vuelve más importante y complejo con el transcurrir de los años.
2. Al momento de implementar una red de telecomunicaciones es indispensable buscar que la tecnología a utilizar tenga, básicamente, una alta disponibilidad, escalabilidad, seguridad y una buena adaptabilidad.
3. Uno de los principios más importantes, al momento de evaluar, económicamente, un proyecto de telecomunicaciones, es el hecho de que una cantidad de dinero puede tener una serie de valores equivalentes y potenciales, por este motivo se debe analizar cada ingreso o egreso de efectivo generado por el proyecto tomando en cuenta la cronología de las transacciones realizadas, esto con el fin de darle el valor real del efectivo y con esto realizar un estudio económico más acertado.
4. Actualmente, los ingenieros sostienen que es, técnicamente, posible llevar a cabo los servicios multimedios en una red convergida. Sin embargo, ellos están ignorando que esa viabilidad técnica es, simplemente, un factor que requerido para crear un mercado e industria de red convergida completamente inexperto. Es trabajo de economistas interpretar los efectos económicos y los problemas causados por las nuevas tecnologías para sugerir y desarrollar paquetes de políticas para un desarrollo exitoso de la industria de red convergida.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio estadístico respecto del número de los usuarios potenciales que se alcanzarán con la implementación de la red, para conocer un valor aproximado de ingresos que se obtendrán con el proyecto.
2. Analizar el tipo de mercado que se pretende cubrir con la red, porque de esto depende el tipo y grado de servicio a instalar, lo cual está, íntimamente, relacionado a las tecnologías de redes.
3. Promover el concepto de red convergida porque esto traerá un avance enorme en las comunicaciones tanto técnica como económicamente para los proveedores y los usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blank, Leland T. y Anthony J. Tarquin. **Ingeniería económica**. 4ta. edición. McGraw-Hill, 1999.-
2. Courcoubetis, Costas y Richard Weber. **Pricing communication networks: economics, technology, and modelling**. 2003 Willey
3. Lera, Emilio y Pedro Caballero. **Planificación de redes digitales**. Colección Técnica Ahciet-Ici 1993.-
4. Oppenheimer, Priscilla. **Top-down network design** 2da. edición. Cisco Press 2004.-
5. Panko, Raymond **Business data networks and telecommunications** 5ta. edición. McGraw-Hill 2004.-
6. Stalings, William **Comunicaciones y redes de computadores**. 6ta. edición. Prentice Hall. 2000.-
7. Taub, Herbert y Donald L. Schilling. **Principles of communication systems**. 2da. edición. McGraw-Hill, 1986.-

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

8. **Changing economic nature of network resources due to network convergence**
<http://web.si.umich.edu/tprc/papers/2004/312/KwonNam.pdf>
(marzo 2006).
9. **Curso de redes**
<http://www.tau.org.ar/base/lara.pue.udlap.mx/redes/rede196.htm#2>
(enero 2006).
10. **Medios de transmisión**
http://html.altatecnologia.com/medios-de-transmision_2.html
(febrero 2006).

11. ***Methodologies for determining telecom tariffs***
http://members.tripod.com/~india_gii/methodol.htm
(marzo 2006).
12. ***Principles for estimating universal service costs***
<http://www.purc.org/primary/jamison/principles.pdf>
(marzo 2006).
13. **Problemas del diseño de una red de telecomunicaciones**
<http://iio.ens.uabc.mx/~jmilanez/escolar/redes/01070000.html>
(febrero de 2006).
14. **Redes ópticas el futuro de las telecomunicaciones**
<http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2005/febrero/telecom.htm>
(febrero de 2006).
15. ***Telecom economic cost model***
<http://www.benjohnsonassociates.com/services/m1.htm>
(marzo 2006).
16. ***Telecom GIS: An integrated approach.***
<http://www.gisdevelopment.net/application/utility/telecom/mi03126pf.htm>
(marzo 2006).
17. **Telefonía fija convencional, condenada a muerte**
<http://www.finanzas.com/id.8655470/noticias/noticia.htm>
(marzo 2006).