



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.360.2

(05/2002)

SERIE E: EXPLOTACIÓN GENERAL DE LA RED,
SERVICIO TELEFÓNICO, EXPLOTACIÓN DEL
SERVICIO Y FACTORES HUMANOS

Plan de encaminamiento internacional

**Encaminamiento orientado a la calidad de
servicio y métodos de ingeniería de tráfico
conexos – Métodos de encaminamiento de la
llamada y de encaminamiento de la conexión**

Recomendación UIT-T E.360.2

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE E

EXPLOTACIÓN GENERAL DE LA RED, SERVICIO TELEFÓNICO, EXPLOTACIÓN DEL SERVICIO Y FACTORES HUMANOS

EXPLOTACIÓN DE LAS RELACIONES INTERNACIONALES	
Definiciones	E.100–E.103
Disposiciones de carácter general relativas a las Administraciones	E.104–E.119
Disposiciones de carácter general relativas a los usuarios	E.120–E.139
Explotación de las relaciones telefónicas internacionales	E.140–E.159
Plan de numeración del servicio telefónico internacional	E.160–E.169
Plan de encaminamiento internacional	E.170–E.179
Tonos utilizados en los sistemas nacionales de señalización	E.180–E.189
Plan de numeración del servicio telefónico internacional	E.190–E.199
Servicio móvil marítimo y servicio móvil terrestre público	E.200–E.229
DISPOSICIONES OPERACIONALES RELATIVAS A LA TASACIÓN Y A LA CONTABILIDAD EN EL SERVICIO TELEFÓNICO INTERNACIONAL	
Tasación en el servicio internacional	E.230–E.249
Medidas y registro de la duración de las conferencias a efectos de la contabilidad	E.260–E.269
UTILIZACIÓN DE LA RED TELEFÓNICA INTERNACIONAL PARA APLICACIONES NO TELEFÓNICAS	
Generalidades	E.300–E.319
Telefotografía	E.320–E.329
DISPOSICIONES DE LA RDSI RELATIVAS A LOS USUARIOS	
PLAN DE ENCAMINAMIENTO INTERNACIONAL	E.350–E.399
GESTIÓN DE RED	
Estadísticas relativas al servicio internacional	E.400–E.409
Gestión de la red internacional	E.410–E.419
Comprobación de la calidad del servicio telefónico internacional	E.420–E.489
INGENIERÍA DE TRÁFICO	
Medidas y registro del tráfico	E.490–E.505
Previsiones del tráfico	E.506–E.509
Determinación del número de circuitos necesarios en explotación manual	E.510–E.519
Determinación del número de circuitos necesarios en explotación automática y semiautomática	E.520–E.539
Grado de servicio	E.540–E.599
Definiciones	E.600–E.649
Ingeniería de tráfico para redes con protocolo Internet	E.650–E.699
Ingeniería de tráfico de RDSI	E.700–E.749
Ingeniería de tráfico de redes móviles	E.750–E.799
CALIDAD DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN: CONCEPTOS, MODELOS, OBJETIVOS, PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO	
Términos y definiciones relativos a la calidad de los servicios de telecomunicación	E.800–E.809
Modelos para los servicios de telecomunicación	E.810–E.844
Objetivos para la calidad de servicio y conceptos conexos de los servicios de telecomunicaciones	E.845–E.859
Utilización de los objetivos de calidad de servicio para la planificación de redes de telecomunicaciones.	E.860–E.879
Recopilación y evaluación de datos reales sobre la calidad de funcionamiento de equipos, redes y servicios	E.880–E.899

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T E.360.2

Encaminamiento orientado a la calidad de servicio y métodos de ingeniería de tráfico conexos – Métodos de encaminamiento de la llamada y de encaminamiento de la conexión

Resumen

Las Recomendaciones de la serie E.360.x describen, analizan y aconsejan métodos que controlan la respuesta de la red a las demandas de tráfico y a otros estímulos, tales como fallos de enlaces o fallos de nodos. Las funciones examinadas y las recomendaciones hechas en relación con la ingeniería de tráfico (TE) son coherentes con la definición que figura en el documento básico del Grupo de Trabajo de ingeniería de tráfico (TEWG) del Grupo de tareas especiales de ingeniería en internet (IETF):

La ingeniería de tráfico de Internet se ocupa de la optimización del funcionamiento de redes operacionales. Abarca la medición, modelado, caracterización y control del tráfico Internet, y la aplicación de técnicas para lograr objetivos específicos de calidad de funcionamiento, incluidos el movimiento fiable y expedito del tráfico a través de la red, la utilización eficaz de los recursos de red y la planificación de la capacidad de la red.

Los métodos tratados en las Recomendaciones de la serie E.360.x incluyen el encaminamiento de la llamada y de la conexión, la gestión de recursos orientada a la calidad de servicio, la gestión de las tablas de encaminamiento, el encaminamiento de transporte dinámico, la gestión de capacidad y los requisitos operacionales. Algunos de los métodos propuestos en esta serie se tratan también en las Recomendaciones UIT-T E.170 a E.179 y E.350 a E.353 sobre encaminamiento, E.410 a E.419 sobre gestión de redes y E.490 a E.780 sobre otros aspectos de la ingeniería de tráfico, o están estrechamente relacionados con los métodos propuestos en dichas Recomendaciones.

Los métodos recomendados se han de aplicar a las redes basadas en el protocolo Internet (IP), en el modo de transferencia asíncrono (ATM) y en la multiplexación por división en el tiempo (TDM), así como al interfuncionamiento entre estas tecnologías de red. Esencialmente todos los métodos recomendados se aplican ya de manera generalizada a escala mundial en redes operacionales, en particular en las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC) que emplean la tecnología basada en TDM. No obstante, estos métodos han demostrado ser extensibles a tecnologías basadas en paquetes, es decir, a tecnologías IP y ATM, y es importante que las redes que evolucionan hacia el empleo de estas tecnologías de paquetes tengan un conocimiento sólido de los métodos que se han de aplicar. Por consiguiente, el propósito es que los métodos indicados en las Recomendaciones de esta serie sirvan de base para los métodos específicos requeridos y, según sea necesario, para el desarrollo de protocolos en las redes IP, ATM y TDM para implementar estos métodos.

Los métodos expuestos en la presente Recomendación comprenden la gestión del tráfico mediante el control de funciones de encaminamiento, que incluyen la gestión de recursos orientada a la calidad de servicio. Se presentan resultados de los modelos de análisis que ilustran los compromisos entre diversos métodos. De acuerdo con los resultados de estos estudios y la práctica y experiencia probadas, se recomiendan los métodos que se han de considerar en la evolución de las redes hacia las tecnologías IP, ATM y/o TDM.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.360.2, preparada por la Comisión de Estudio 2 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 16 de mayo de 2002.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2003

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	2
3 Definiciones.....	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Métodos de encaminamiento de llamada.....	2
6 Métodos de encaminamiento de conexión (trayecto portador).....	3
7 Selección de trayecto de encaminamiento fijo jerárquico (FR).....	7
8 Selección de trayecto de encaminamiento dependiente del tiempo (TDR).....	9
9 Selección de trayecto de encaminamiento dependiente de estado (SDR).....	11
10 Selección de encaminamiento dependiente de evento (EDR).....	13
11 Encaminamiento entre dominios	13
12 Conclusiones/recomendaciones.....	16
Anexo A – Modelado de métodos de ingeniería de tráfico.....	18
A.1 Comparaciones de diseños de red.....	25
A.2 Comparaciones de la calidad de funcionamiento de la red	26
A.3 Topología de red simple de una sola zona comparada con topología jerárquica de dos niveles de múltiples zonas.....	29
A.4 Conclusiones relativas al modelado de red	31

Introducción

En la presente Recomendación se supone la separación del "encaminamiento de llamada" y de señalización para el establecimiento de la comunicación del "encaminamiento de conexión (o trayecto portador)" y de señalización para el establecimiento de canal portador. Los protocolos de encaminamiento de llamada principalmente traducen un número o un nombre, que es dado a la red como parte de un establecimiento de comunicación, a una dirección de encaminamiento necesaria para el establecimiento de la conexión (trayecto portador). Los protocolos de encaminamiento de llamada se describen, por ejemplo en [Q.2761] para la señalización de llamada de la parte usuario de la RDSI de banda ancha (PU-RDSI-BA), en [ATM990048] para control de llamada independiente del portador (BICC, *bearer independent call control*), o concentración de enlaces virtuales, señalización de llamada en [H.323] para la señalización de llamada H.323, en [GR99] para la señalización de llamada con control de pasarela de medios [RFC2805], y en [HSSR99] para la señalización de llamada del protocolo de iniciación de sesión (SIP, *session initiation protocol*). Los protocolos de encaminamiento de conexión comprenden, por ejemplo, los indicados en [Q.2761] para señalización PU-RDSI-BA, [ATM960055] para señalización PNNI, [ATM960061] para señalización UNI, [DN99] para señalización de trayecto virtual conmutado (SVP, *switched virtual path*), y [J00] para señalización MPLS de protocolo con distribución por etiquetas de encaminamiento con restricciones (CRLDP, *constraint-based routing label distribution protocol*).

Un método específico de encaminamiento de conexión o trayecto portador se caracteriza por la tabla de encaminamiento utilizada en el método. La tabla de encaminamiento consiste en un conjunto de trayectos y reglas para seleccionar un trayecto de una ruta para una petición de conexión dada. Cuando una petición de conexión llega a su nodo de origen (ON), el ON que aplica el método de encaminamiento ejecuta las reglas de selección de trayecto asociadas con la tabla de encaminamientos para la conexión, con el fin de determinar un trayecto seleccionado entre los trayectos candidatos en la ruta para la petición de conexión. En un método de encaminamiento dado, el trayecto seleccionado para la petición de conexión es regido por las reglas de encaminamiento de conexión o de selección de trayecto. Se examinan varios métodos de selección de trayecto: selección de trayecto de encaminamiento fijo (FR, *fixed routing*), selección de trayecto de encaminamiento dependiente del tiempo (TDR, *time-dependent routing*), selección de trayecto de encaminamiento dependiente del estados (SDR, *state-dependent routing*) y selección de trayecto encaminamiento dependiente del evento (EDR, *event-dependent routing*).

Recomendación UIT-T E.360.2

Encaminamiento orientado a la calidad de servicio y métodos de ingeniería de tráfico conexos – Métodos de encaminamiento de la llamada y de encaminamiento de la conexión

1 Alcance

Las Recomendaciones de la serie E.360.x describen, analizan y aconsejan métodos que controlan una respuesta de la red a las demandas de tráfico y a otros estímulos, tales como fallos de enlaces o fallos de nodos. Las funciones examinadas y las recomendaciones hechas en relación con la ingeniería de tráfico (TE, *traffic engineering*) son coherentes con la definición que figura en el documento básico del Grupo de Trabajo de ingeniería de tráfico (TEWG, *traffic engineering working group*) del Grupo de tareas especiales de ingeniería en internet (IETF, *internet engineering task force*):

La ingeniería de tráfico de Internet se ocupa de la optimización del funcionamiento de redes operacionales. Abarca la medición, modelado, caracterización y control del tráfico Internet, y la aplicación de técnicas para lograr objetivos específicos de calidad funcionamiento, incluidos el movimiento fiable y expedito del tráfico a través de la red, la utilización eficaz de los recursos de red y la planificación de la capacidad de la red.

Los métodos tratados en las Recomendaciones de la serie E.360.x incluyen el encaminamiento de la llamada y de la conexión, la gestión de recursos orientada a la calidad de servicio, la gestión de las tablas de encaminamiento, el encaminamiento de transporte dinámico, la gestión de capacidad y los requisitos operacionales. Algunos de los métodos propuestos en dicha serie se tratan también en las Recomendaciones UIT-T E.170 a E.179 y E.350 a E.353 sobre encaminamiento, E.410 a E.419 sobre gestión de redes y E.490 a E.780 sobre otros aspectos de la ingeniería de tráfico, o están estrechamente relacionados con los métodos propuestos en dichas Recomendaciones.

Los métodos recomendados se han de aplicar a las redes basadas en el protocolo Internet (IP, *Internet protocol*), en el modo de transferencia asíncrono (ATM, *asynchronous transfer mode*) y en la multiplexación por división en el tiempo (TDM, *time division multiplex*), así como al interfuncionamiento entre estas tecnologías de red. Esencialmente todos los métodos recomendados se aplican ya de manera generalizada a escala mundial en redes operacionales, en particular en las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC) que emplean la tecnología basada en TDM. No obstante, estos métodos han demostrado ser extensibles a tecnologías basadas en paquetes, es decir, a tecnologías IP y ATM, y es importante que las redes que evolucionan hacia el empleo de estas tecnologías de paquetes tengan un conocimiento sólido de los métodos que se han de aplicar. Por consiguiente, el propósito es que los métodos indicados en las Recomendaciones de esta serie sirvan de base para los métodos específicos requeridos y, según sea necesario, para el desarrollo de protocolos en las redes IP, ATM y TDM para implementar estos métodos.

Por tanto, los métodos que figuran en esta serie de Recomendaciones incluyen:

- La gestión de tráfico mediante funciones de control de encaminamiento, que incluyen encaminamiento de la llamada (traducción de número/nombre a dirección de encaminamiento), encaminamiento de la conexión, gestión de recursos orientada a la calidad de servicio, gestión de las tablas de encaminamiento y encaminamiento de transporte dinámico.
- Gestión de capacidad, mediante el control del diseño de red, incluido el diseño de encaminamiento.
- Requisitos operacionales para la gestión del tráfico y de la capacidad, que comprenden la previsión, la supervisión de la calidad funcionamiento y el ajuste de la red a corto plazo.

Se presentan los resultados de los modelos de análisis que ilustran los compromisos entre diversos métodos. De acuerdo con los resultados de estos estudios y la práctica y experiencia probadas, se recomiendan los métodos que se han de considerar en la evolución de las redes hacia las tecnologías IP, ATM y/o TDM.

2 Referencias

Véase la cláusula 2 de la Rec. UIT-T E.360.1.

3 Definiciones

Véase la cláusula 3 de la Rec. UIT-T E.360.1.

4 Abreviaturas

Véase la cláusula 4 de la Rec. UIT-T E.360.1.

5 Métodos de encaminamiento de llamada

El encaminamiento de llamada entraña la traducción de número (o nombre) a una dirección de encaminamiento, que es utilizada después para el establecimiento de la conexión. Las direcciones de encaminamiento pueden consistir, por ejemplo, en:

- direcciones de sistema de extremo del modo de transferencia asíncrono [E.164] (AESA, *ATM end system addresses*) [E.191];
- direcciones de encaminamiento de red (NRA, *network routing addresses*) [E.353]; y/o
- direcciones IP [S94].

Como se examina en la Rec. UIT-T E.360.4, un requisito de TE es la necesidad de transportar direcciones E.164-AESA, NRA y direcciones IP en el elemento de información (IE, *information element*) de establecimiento de la conexión. En ese caso, las direcciones E.164-AESA, NRA e IP se convierten en el método de direccionamiento normalizado para el interfuncionamiento a través de redes basadas en IP, ATM y TDM. Otro requisito de TE es que se transporte un código de identificación de la llamada (CIC, *call identification code*) en los IE de establecimiento de conexión de control de llamada y de control de portador con el fin de correlacionar el establecimiento de control de llamada con el establecimiento de control de portador ([Q.1901], [ATM990048]). El transporte de estos parámetros adicionales en los IE de establecimiento de conexión en la parte usuario de la RDSI del sistema de señalización N.º 7 (SS7, *signalling system No. 7*) se denomina el protocolo de control de llamada independiente del portador (BICC).

La traducción de número (o nombre) debe resultar en las direcciones E.164-AESA, NRA y/o IP. Los formatos de NRA se tratan en [E.353] y los formatos de direcciones IP en [S94]. La dirección AESA tiene un formato de 20 octetos como se muestra en la figura 1a [E.191].

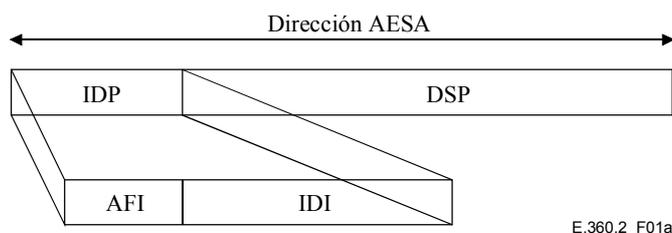


Figura 1a/E.360.2 – Estructura de dirección AESA

El IDP es la parte de dominio inicial y el DSP es la parte específica de dominio. El IDP se subdivide en AFI e IDI. El IDI es el identificador de dominio inicial y puede contener la dirección E.164 de 15 cifras si el AFI está puesto a 45. AFI es el identificador de autoridad y formato y determina la clase de método de direccionamiento que se sigue, y se basa en el valor AFI de 1 octeto, la longitud de los campos IDI y DSP puede variar. La dirección E.164-AESA se utiliza para determinar el trayecto al punto extremo de destino. El direccionamiento E.164-AESA para servicios RDSI de banda ancha se soporta en las redes ATM empleando PNNI, mediante el uso del formato AESA anterior. En este caso, la parte E.164 de la dirección AESA ocupa el IDI de 8 octetos, y el DSP de 11 octetos puede ser utilizado a discreción del operador de la red (quizá para subdirecciones). La estructura AESA soporta también los formatos de direccionamiento AESA, indicativo de país para datos (DCC, *data country code*) y AESA designador de indicativo internacional (ICD, *international code designator*).

Dentro de la red IP, el encaminamiento se efectúa utilizando direcciones IP. Se emplean bases de datos de traducción, tales como las basadas en tecnología de sistema de nombre de dominio (DNS, *domain name system*) [F00], para traducir los números/nombres E.164 para llamadas a direcciones IP para el encaminamiento por la red IP. La dirección IP es una estructura de dirección de 4 octetos como se muestra en la figura 1b.

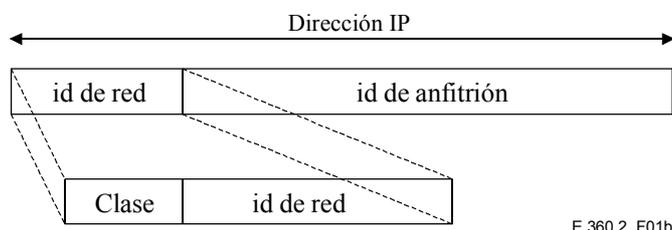


Figura 1b/E.360.2 – Estructura de dirección IP

Hay cinco clases de direcciones IP. Las diferentes clases tienen longitudes diferentes para el campo de identificación de red. El encaminamiento entre dominios sin clase (CIDR, *classless inter-domain routing*) permite dar bloques de direcciones a proveedores de servicio para proporcionar una acumulación de direcciones eficaz. Esto va acompañado de capacidades en el protocolo BGP4.0 para advertencias de dirección eficaces [RL00], [S94].

6 Métodos de encaminamiento de conexión (trayecto portador)

El encaminamiento de la conexión es caracterizado por la tabla de encaminamiento utilizada en el método y las reglas para seleccionar un trayecto de la ruta para una determinada petición de conexión o de asignación de anchura de banda. Cuando un ON inicia una petición de conexión/asignación de anchura de banda, el ON que aplica el método de encaminamiento ejecuta las reglas de selección de trayecto asociadas con la tabla de encaminamiento para la conexión/asignación de anchura de banda con el fin de hallar un trayecto admisible entre los diversos trayectos de la ruta que satisfaga la petición en cuestión. En un método de encaminamiento dado, el trayecto seleccionado se determina de acuerdo con las reglas asociadas con la tabla de encaminamiento. En una red con control de conexión/asignación de anchura de banda en el origen, el ON mantiene el control de la petición de conexión/asignación de anchura de banda. Si se utiliza reencaminamiento automático/anchura de banda no disponible, por ejemplo, en un nodo intermedio (VN, *via node*), el nodo precedente mantiene el control de la petición de conexión/anchura de banda incluso si la petición es bloqueada en todos los enlaces salientes de la VN.

A continuación se examina el encaminamiento de conexión de capa de red (a veces denominado encaminamiento de "capa 3"), en oposición al encaminamiento de enlace lógico de capa de enlace ("capa 2") o al encaminamiento de capa física ("capa 1"). En la presente Recomendación el término

"enlace" significa normalmente "enlace lógico". En la Rec. UIT-T E.360.5 se trata el encaminamiento de enlaces lógicos.

Los métodos de encaminamiento de conexión de capa de red (capa 3) comprenden los examinados en:

- primer trayecto más corto abierto (OSPF, *open shortest route first*), protocolo de pasarela de frontera (BGP, *border gateway protocol*) y conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS, *multiprotocol label switching*) para métodos de encaminamiento basados en IP;
- interfaz usuario-red (UNI, *user-network interface*), interfaz red-red privada (PNNI, *private network-to-network interface*), interfaz entre redes con modo de transferencia asíncrono (AINI, *ATM inter-network interface*) y modificación de anchura de banda para métodos de encaminamiento basados en ATM; y
- Recomendaciones UIT-T E.170, E.350 y E.351 para métodos de encaminamiento basados en TDM.

En una red IP, es posible definir enlaces lógicos denominados haces de circuitos de tráfico que consisten en trayectos conmutados por etiquetas (LSP, *label switched paths*) MPLS entre los nodos IP. Los haces de circuitos de tráfico se utilizan para asignar la anchura de banda de los enlaces lógicos a varios pares de nodos. En una red ATM, se pueden definir enlaces lógicos denominados trayectos virtuales (VP, *virtual path*) (el equivalente de haces de circuitos de tráfico) entre los nodos ATM, y los VP pueden ser utilizados para asignar la anchura de banda de los enlaces lógicos a varios pares de nodos. En una red TDM, los enlaces lógicos consisten en grupos de haces de circuitos entre los nodos TDM.

Con las tecnologías IP y ATM se suele utilizar una red de enlaces lógicos de baja densidad, como se ilustra en la figura 2 y se puede utilizar FR, TDR, SDR y EDR en combinación con selección de trayectos más cortos multienlaces.

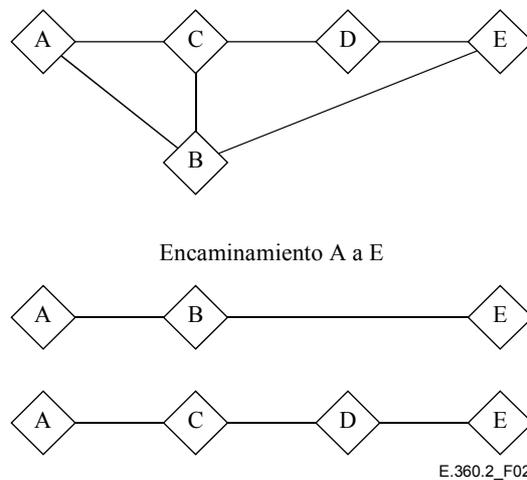


Figura 2/E.360.2 – Topología de red lógica de baja densidad con conexiones encaminadas por trayectos multienlaces

Con la tecnología TDM se suele utilizar una red de enlaces lógicos en malla, pero se puede utilizar también con una tecnología IP o ATM, y los trayectos seleccionados están limitados normalmente a uno o dos enlaces lógicos, o grupos de haces de circuito, como se ilustra en la figura 3.

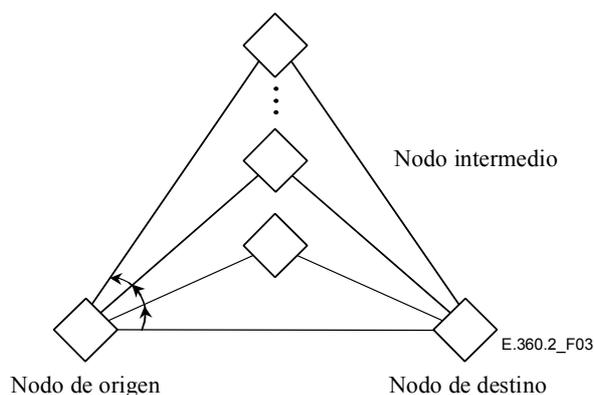


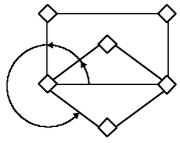
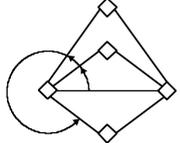
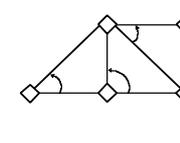
Figura 3/E.360.2 – Topología de red lógica en malla con conexiones encaminadas por trayectos de 1 y 2 enlaces

Es posible establecer los trayectos en conexiones individuales (o "flujo por flujo") para cada petición de llamada, como en el caso de circuitos virtuales conmutados (SVC, *switched virtual circuits*). Es posible también establecer trayectos para peticiones de asignación de anchura de banda asociados con "conductos de anchura de banda" o haces de circuito de tráfico, como en el caso de trayectos virtuales conmutados (SVP, *switched virtual paths*) en redes basadas en ATM o trayectos conmutados por etiquetas de encaminamiento con restricciones (CRLSP, *constraint-based routing label switched paths*) en redes basadas en IP. Los trayectos son determinados por algoritmos (normalmente patentados) basados en la topología de red y la información de dirección alcanzable. Estos trayectos pueden atravesar múltiples grupos de pares en redes ATM, y múltiples sistemas autónomos (AS, *autonomous systems*) en redes IP. Un ON puede seleccionar un trayecto de la tabla de encaminamiento de acuerdo con las reglas de encaminamiento y los criterios de gestión de recursos orientados a QoS, que se describen en la Rec. UIT-T E.360.3, que deben ser satisfechos en cada enlace lógico del trayecto. Si un enlace no está autorizado de conformidad con los criterios de QoS, se utiliza una liberación con el parámetro reencaminamiento automático/anchura de banda no disponible para señalar esa condición al ON con el fin de devolver la petición de conexión/asignación de anchura de banda al ON, que pueden entonces seleccionar un trayecto alternativo. Además de controlar la asignación de anchura de banda, los procedimientos de gestión de recursos orientados a QoS pueden comprobar el retardo de transferencia de extremo a extremo, la variación de retardo y las consideraciones relativas a la calidad de la transmisión, tales como atenuación, eco y ruido.

Cuando se utiliza un encaminamiento desde el origen, el establecimiento de una petición de conexión/asignación de anchura de banda se logra mediante la identificación por el ON de todo el trayecto seleccionado, incluidos todos los VN y DN, en el trayecto en un parámetro de lista de tránsito designada (DTL, *designated-transit-list*) o ruta explícita (ER, *explicit route*) en el IE de establecimiento de la conexión. Si los parámetros de QoS o de tráfico no pueden ser realizados en algunos de los VN en la petición de establecimiento de la conexión, el VN genera un parámetro de reencaminamiento automático hacia atrás (CBK, *crankback*)/anchura de banda no disponible (BNA, *bandwith not available*) en el IE de liberación de la conexión, lo que permite a un VN devolver el control de la petición de conexión al ON para ulterior encaminamiento alternativo. En la Rec. UIT-T E.360.4 se identifica que se requieren los elementos DTL/ER y CBK/BNA para el interfuncionamiento a través de redes IP, ATM y TDM.

Según se indica anteriormente, los métodos de encaminamiento de conexión o de selección de trayecto se clasifican en los cuatro tipos siguientes: encaminamiento fijo (FR), encaminamiento dependiente del tiempo (TDR), encaminamiento dependiente del estado (SDR) y encaminamiento dependiente del evento (EDR). A continuación se examinan cada uno de estos métodos y en las figuras 4a y 4b se ilustran cada uno de estos métodos de selección de trayecto.

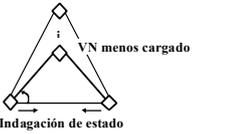
El encaminamiento dinámico permite cambiar las tablas de encaminamiento dinámicamente, sea en línea, de manera preplanificada, con variación dependiente del tiempo, como en TDR, o en línea, en tiempo real, como SDR o EDR. Con los métodos de selección de trayecto TDR preplanificados fuera de línea, los patrones de encaminamiento contenidos en las tablas de encaminamiento pudieran cambiar cada hora o por lo menos varias veces al día para responder a las variaciones de hora en hora medidas de las cargas de tráfico, y en general las tablas de encaminamiento TDR cambian con una constante de tiempo normalmente mayor que un tiempo de retención de llamada/flujo de tráfico. Un método de encaminamiento TDR típico puede variar las tablas de encaminamiento cada hora, lo cual es un periodo más largo que un tiempo de retención típico de llamada vocal/flujo de tráfico de unos minutos. En la figura 4a se muestran tres implementaciones de selección dinámica de trayecto, que muestra el encaminamiento de trayecto multienlaces, el encaminamiento de trayecto de dos enlaces, y el encaminamiento progresivo.

Encaminamiento dinámico por trayecto multienlaces		<ul style="list-style-type: none"> • Trayectos de un enlace, dos enlaces y multienlaces autorizados • Trayectos buscados de acuerdo con varias reglas: cíclica, bloque cíclico (CGH), salto de un trayecto, secuencial • Orden de trayecto cambiado en función del tiempo; el corredor de anchura de banda determina las rutas en base al tráfico • Reencaminamiento automático hacia atrás desde el nodo intermedio al nodo de origen si hay bloqueo
Encaminamiento dinámico por trayecto de dos enlaces		<ul style="list-style-type: none"> • Trayectos de un enlace y dos enlaces autorizados • Trayectos buscados de acuerdo con varias reglas: cíclico, bloque cíclico (CGH), salto de un trayecto, secuencial • Orden de trayecto cambiado en función del tiempo; el corredor de anchura de banda determina las rutas en base al tráfico • Reencaminamiento automático hacia atrás desde el nodo intermedio al nodo de origen si hay bloqueo
Encaminamiento dinámico progresivo		<ul style="list-style-type: none"> • Trayectos de un enlace, dos enlaces y multienlaces autorizados • Secuencia de enlaces basada en destino buscada en cada nodo • Orden de búsqueda de enlace cambiado en función del tiempo en el ON; el corredor de anchura de banda determina las rutas en base al tráfico • Progresivo hacia el destino; sin reencaminamiento automático hacia atrás ni retorno al nodo anterior

E.360.2_F04a

Figura 4a/E.360.2 – Métodos dinámicos de selección de trayecto TDR

Las tablas de encaminamiento TDR son preplanificadas, preconfiguradas y recalculadas quizás cada semana dentro de la función de diseño de red de gestión de capacidad. La selección dinámica de trayecto en tiempo real no depende de las tablas de encaminamiento precalculadas. En cambio, el nodo o corredor de anchura de banda centralizado detecta la carga de tráfico inmediata y, si es necesario, busca nuevos trayectos a través de la red, posiblemente para cada flujo de tráfico. Con los métodos de selección de trayecto en tiempo real, las tablas de encaminamiento cambian con una constante de tiempo del orden de un tiempo de retención de llamada/flujo de tráfico o menos. Como se ilustra en la figura 4b, los métodos de selección de trayecto en tiempo real en línea incluyen EDR y SDR.

<p>Encaminamiento dependiente del evento</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar trayecto primario, después trayecto intermedio satisfactorio vigente • Seleccionar aleatoriamente nuevo trayecto intermedio cuando la llamada está bloqueada • Método STT: se permite hasta N reencaminamientos automáticos hacia atrás para hallar el trayecto intermedio satisfactorio
<p>Encaminamiento dependiente del estado (centralizado, periódico)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar trayecto primario, después trayecto intermedio menos cargado recomendado por el corredor de anchura de banda • Cada nodo envía estado de enlace periódico al corredor de anchura de banda • Cada nodo recibe estado de enlace periódico del corredor de anchura de banda
<p>Encaminamiento dependiente del estado (distribuido, periódico)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Intercambio periódico de datos de tráfico (por ejemplo, cada 5 minutos) • Seleccionar trayecto primario, después trayecto intermedio menos ocupado
<p>Encaminamiento dependiente del estado (distribuido, llamada por llamada)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar trayecto primario, después trayecto intermedio menos cargado en base al estado en tiempo real • El nodo de origen pregunta al nodo de terminación el estado del enlace • El encaminamiento cambia llamada por llamada

E.360.2_F04b

Figura 4b/E.360.2 – Métodos dinámicos de selección de trayecto EDR y SDR

7 Selección de trayecto de encaminamiento fijo jerárquico (FR)

El encaminamiento fijo jerárquico (FR) es una topología de encaminamiento importante empleada en todos los tipos de redes, incluidas las redes IP, ATM y TDM. En las redes IP, a menudo hay una relación jerárquica entre diferentes "zonas" o subredes. Las topologías de múltiples dominios jerárquicas (o múltiples zonas o múltiples sistemas autónomos) son utilizadas normalmente con protocolos de encaminamiento IP (OSPF, BGP) y protocolos de encaminamiento ATM (PNNI), así como dentro de casi todas las topologías de encaminamiento de redes TDM.

Por ejemplo, en la figura 4c, BB1 y BB2 podría ser nodos de ruta principal en una "zona de ruta principal" y AN1 y AN2 podrían ser nodos de acceso en "zonas de acceso" separadas, distintas de la zona de ruta principal. El encaminamiento entre las zonas sigue un patrón de encaminamiento jerárquico, mientras que el encaminamiento dentro de una zona sigue un protocolo de pasarela interior (IGP, *interior gateway protocol*), tal como OSPF más MPLS. De manera similar, en redes ATM, existe el mismo concepto, pero en este caso las "zonas" se denominan "grupos de pares" y, por ejemplo, el IGP utilizado dentro de los grupos de pares podría ser PNNI. En redes TDM, el encaminamiento entre subredes, por ejemplo, redes de área metropolitana y redes de larga distancia, es normalmente jerárquico como en las redes IP y ATM, y el IGP en las redes TDM podría ser encaminamiento jerárquico o dinámico. A continuación se examinan atributos y métodos más específicos para la selección de trayecto FR jerárquico.

En un método FR, el patrón de encaminamiento es fijo para una petición de conexión. Un ejemplo típico es un patrón de encaminamiento alternativo jerárquico basado en TDM, tradicional, donde la ruta y la secuencia de selección de ruta son determinadas sobre la base de una planificación previa y se mantienen durante un largo periodo de tiempo. En la figura 4c se ilustra el método FR jerárquico.

Este método se aplica con mayor eficacia cuando la red no es jerárquica, en comparación con la estructura jerárquica [A98].

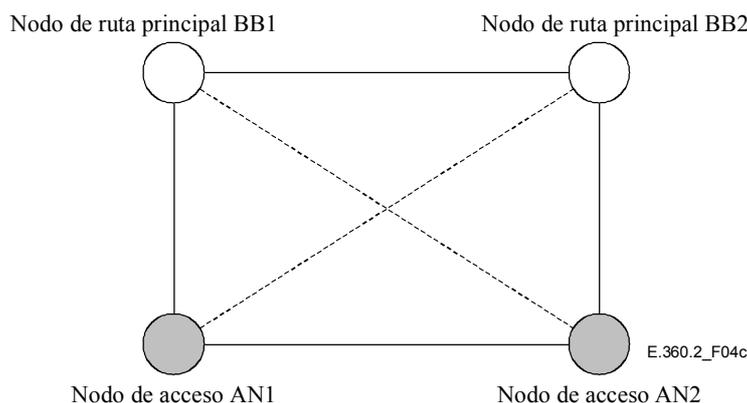


Figura 4c/E.360.2 – Métodos de selección de trayecto de encaminamiento fijo jerárquico (red jerárquica de dos niveles)

La finalidad del encaminamiento fijo jerárquico es transportar tanto tráfico como sea económicamente factible por enlaces directos entre pares de nodos bajos en la jerarquía. Esto se efectúa aplicando procedimientos de encaminamiento para determinar dónde existe carga suficiente para justificar enlaces lógicos de alta utilización y aplicando después principios de encaminamiento alternativos que efectivamente reúnen las capacidades de los enlaces de alta utilización con las capacidades de los enlaces finales, con el fin de que todo el tráfico sea transportado eficazmente.

El encaminamiento de peticiones de conexión en una red jerárquica conlleva una escalera de origen, una escalera de terminación y enlaces que interconectan ambas escaleras. Por ejemplo, en una red de dos niveles, la escalera de origen es el enlace final desde el nodo de nivel 1 más bajo hasta el nodo de nivel 2 más alto, y la escalera de terminación es el enlace final desde el nodo de nivel 2 más alto hasta el nodo de nivel 1 más bajo. Los enlaces AN1-BB2, AN2-BB1, y BB1-BB2 en la figura 4c son ejemplo de enlaces entre escaleras.

La identificación del enlace apropiado entre escaleras para el encaminamiento de una petición de conexión dada identifica el punto "de salida" de la escalera de origen y el punto "de entrada" de la escalera de terminación. Una vez identificados estos puntos de salida y de entrada y conocidos los enlaces entre escaleras, es posible determinar un trayecto de primera elección desde el punto de origen al de terminación.

Se utilizan varios niveles de concentración de tráfico para lograr un equilibrio apropiado entre transporte y conmutación. La secuencia de encaminamiento generalmente preferida para las conexiones AN1 a AN2 es:

- 1) Una petición de conexión que no comprende nodos intermedios: trayecto AN1-AN2 (si existiese el enlace).
- 2) Una petición de conexión que comprende un nodo intermedio: trayecto AN1-BB2-AN2, AN1-BB1-AN2, en ese orden.
- 3) Una petición de conexión que comprende dos nodos intermedios: trayecto AN1-BB1-BB2-AN2.

Este procedimiento sólo proporciona el enlace entre escaleras de primera elección de AN1 a AN2. Las peticiones de conexión de AN2 a AN1 a menudo son encaminadas diferentemente. La determinación de la ruta AN2 a AN1 requiere invertir el diagrama, de modo que AN2-BB2 sea la escalera de origen y AN1-BB1 la escalera de terminación. En la figura 4c el trayecto preferido de AN2 a AN1 es AN2-AN1, AN2-BB1-AN1, AN2-BB2-AN1 y AN2-BB2-BB1-AN1, en ese orden. El trayecto alternativo para cualquier enlace de alta utilización es el trayecto que la carga de tráfico

de nodo a nodo entre los nodos seguiría si no existiese el enlace de alta utilización. En la figura 4c, éste es AN2-BB1-AN1.

8 Selección de trayecto de encaminamiento dependiente del tiempo (TDR)

Los métodos TDR son un tipo de encaminamiento dinámico en el cual las tablas de encaminamiento son alteradas en un instante de tiempo fijo durante el día o la semana. Las tablas de encaminamiento TDR son determinadas sobre la base de planificación previa fuera de línea y se aplican coherentemente durante un periodo de tiempo. Las tablas de encaminamiento TDR se determinan considerando la variación temporal de la carga de tráfico en la red, por ejemplo, de acuerdo con patrones de carga de cada hora medida. Se utilizan varios periodos de tiempo TDR para dividir las horas de un día laborable medio y del fin de semana en intervalos de encaminamiento contiguos, algunas veces denominados periodos de fijación de carga. En general, las tablas de encaminamiento TDR utilizadas en la red son coordinadas aprovechando la no coincidencia de las horas cargadas entre las cargas de tráfico.

En el método TDR, las tablas de encaminamiento son planificadas previamente y diseñadas fuera de línea utilizando corredor de anchura de banda centralizado, que emplea un modelo de diseño de red TDR. Estos modelos se examinan en la Rec. UIT-T E.360.6. El cálculo fuera de línea determina las rutas óptimas de un número muy grande de alternativas posibles, con el fin de maximizar el caudal y/o minimizar los costos de red. Las tablas de encaminamiento diseñadas son cargadas y almacenadas en los diversos nodos de la red TDR, y recalculadas y actualizadas periódicamente (por ejemplo, cada semana) por el corredor de anchura de banda. De esta manera, un ON no necesita información adicional para construir tablas de encaminamiento TDR, una vez que dichas tablas han sido cargadas. Esto contrasta con el diseño de tablas de encaminamiento en línea en tiempo real, como en los métodos SDR y EDR descritos más adelante. Los trayectos en la tabla de encaminamiento TDR pueden consistir en opciones de encaminamiento que varían en el tiempo y utilizan un subconjunto de los trayectos disponibles. Los trayectos utilizados en distintos periodos de tiempo no tienen que ser los mismos.

Los trayectos en la tabla de encaminamiento TDR pueden estar formados por el enlace directo, un trayecto de dos enlaces a través de un VN, o un trayecto multienlaces a través de múltiples VN. El encaminamiento del trayecto supone la selección de un trayecto entero entre los nodos de origen y de terminación antes de que se intente realmente una conexión por ese trayecto. Si una conexión por un enlace en un trayecto está bloqueada (por ejemplo, debido a anchura de banda insuficiente), la petición de conexión intenta otro trayecto completo. Este método de encaminamiento puede ser implementado mediante control desde el nodo de origen, más una capacidad de reencaminamiento automático hacia atrás multienlaces para poder utilizar dos, tres o más enlaces. El reencaminamiento automático hacia atrás es una capacidad de mensajes de intercambio de información que permite que una petición de conexión bloqueada en un enlace de un trayecto vuelva al nodo de origen para ulterior encaminamiento alternativo por otros trayectos. El encaminamiento de trayecto a trayecto no es jerárquico y permite la elección de los trayectos más económicos en vez de estar restringido a trayectos jerárquicos.

Las reglas de selección de trayecto empleadas en las tablas de encaminamiento TDR, por ejemplo, pueden consistir en encaminamiento secuencial simple. En el método secuencial, todo el tráfico durante un periodo de tiempo dado es ofrecido a una sola ruta, y deja que el primer trayecto en la ruta desborde al segundo trayecto que desborda al tercer trayecto, y así sucesivamente. De este modo el tráfico es encaminado secuencialmente de trayecto a trayecto, y la ruta puede cambiar de hora en hora para satisfacer la naturaleza dinámica preplanificada, o que varía en el tiempo, del método TDR.

Otras reglas de selección de trayecto TDR pueden emplear técnicas probabilísticas para seleccionar cada trayecto en la ruta y determinar así los flujos realizados. Uno de estos métodos para implementar la selección de trayecto multienlaces TDR es asignar fracciones del tráfico a rutas y

permitir que las fracciones varíen en función del tiempo. Un método es la selección cíclica del trayecto, ilustrada en la figura 4a, que tiene como su primera ruta (1, 2, ..., M), donde la notación (i, j, k) significa que todo el tráfico es ofrecido primero al trayecto i, que desborda el trayecto j, que desborda al trayecto k. La segunda ruta de una opción cíclica es una permuta cíclica de la primera ruta: (2, 3, ..., M, 1). La tercera ruta es similar (3, 4, ..., M, 1, 2), y así sucesivamente. Este método tiene ventajas computacionales porque su estructura cíclica requiere un número considerablemente menor de cálculo en el modelo de diseño que una colección general de trayectos. El nivel de congestión de rutas cíclicas es idéntico, lo que varía de una ruta a otra es la proporción de flujos por los diversos enlaces.

En la figura 4a se ilustra una selección de trayecto TDR de dos enlaces. El ejemplo de implementación es una selección de trayecto TDR secuencial de dos enlaces (2S-TDR). Mediante el uso de la señal de reencaminamiento automático hacia atrás, 2S-TDR limita las conexiones de trayecto a dos enlaces como máximo y en las topologías de redes en malla, la selección de trayecto secuencial de dos enlaces TDR permite una utilización de la red y mejora de la calidad de funcionamiento casi igual que con la selección de trayecto multienlaces TDR. Esto se debe a que en el diseño de encaminamiento multienlaces en redes en malla, aproximadamente el 98% del tráfico es encaminado por trayectos de uno o de dos enlaces, aunque estén autorizados trayectos de longitud mayor. Debido a los costos de conmutación, los trayectos con uno o dos enlaces suelen ser menos costosos que los trayectos con más enlaces. Por consiguiente, como se ilustra en la figura 4a, el encaminamiento de trayecto por dos enlaces utiliza la restricción simplificadora de que los trayectos sólo pueden tener uno o dos enlaces, lo que requiere aplicar un reencaminamiento automático hacia atrás de un solo enlace, y no utiliza enlaces comunes, como es posible con el encaminamiento por trayectos multienlaces. Los métodos de selección de trayecto alternativo de dos enlaces incluyen el método de encaminamiento cíclico descrito anteriormente y el método secuencial.

En el encaminamiento secuencial, todo el tráfico en una hora dada es ofrecido a una sola ruta, y el primer trayecto puede desbordar al segundo, que desborda al tercero, y así sucesivamente. De este modo. El tráfico es encaminado secuencialmente de trayecto a trayecto sin utilizar métodos probabilísticos para determinar los flujos realizados. El motivo por el cual el encaminamiento secuencial funciona bien es que la permuta del orden de trayectos proporciona flexibilidad suficiente para lograr los flujos deseados sin la necesidad de encaminamiento probabilístico. En 2S-TDR, la ruta secuencial puede cambiar de hora en hora. La naturaleza TDR del método de selección dinámica de trayecto se logra introduciendo varias opciones de rutas, que consisten en diferentes secuencias de trayectos, y cada trayecto tiene uno o, como máximo, dos enlaces en cascada.

Los trayectos de la tabla de encaminamiento están sujetos a restricciones de profundidad de búsqueda (DoS, *depth-of-search*) para la gestión de recursos orientada a QoS, que se examina en la Rec. UIT-T E.360.3. El parámetro DoS requiere que la capacidad de anchura de banda disponible en cada enlace del trayecto sea suficiente para satisfacer un nivel de umbral de anchura de banda de DoS, que es transferido a cada nodo del trayecto en el mensaje de establecimiento. Estas restricciones impiden, por ejemplo, que las conexiones que transitan por el trayecto ON-DN de primera elección o primario (a menudo el más corto) sean sumergidas por conexiones multienlaces encaminadas alternativamente.

He aquí un ejemplo de establecimiento de conexión TDR. El primer paso es que el ON identifique el DN y la información de tabla de encaminamiento al DN. El ON prueba entonces la capacidad de reserva en el trayecto primero o más corto, y al hacerlo suministra los VN y DN del trayecto, junto con el parámetro DoS a todos los nodos del trayecto. Cada VN prueba la capacidad de anchura de banda disponible en cada enlace del trayecto comparándola con el umbral DoS. Si hay suficiente capacidad, el VN envía el establecimiento de conexión al siguiente nodo, que ejecuta una función similar. Si la capacidad es insuficiente, el VN envía un mensaje de liberación con el parámetro reencaminamiento automático hacia atrás/anchura de banda no disponible al ON, en cuyo punto el

ON intenta el siguiente trayecto de la ruta determinado por las reglas de la tabla de encaminamiento. Como se describe anteriormente, las rutas TDR son planificadas previamente fuera de línea, cargadas y almacenadas en cada ON.

La asignación del tráfico al trayecto óptimo durante cada periodo de tiempo resulta en ventajas de diseño debido a la no coincidencia de las cargas. Como en muchas redes las demandas de tráfico de aplicaciones varían en función del tiempo de una manera razonablemente predecible, el encaminamiento varía también en función del tiempo para lograr la utilización máxima de los enlaces y el costo mínimo de la red. Se utilizan varios periodos de tiempo de encaminamiento TDR para dividir la horas de un día laborable y de un fin de semana promedios en intervalos de encaminamiento contiguos. El diseño de red se realiza en un cálculo fuera de línea centralizado en el corredor de anchura de banda que determina las tablas de encaminamiento óptimas a partir de un número muy grande de posibles alternativas con el fin de minimizar el costo de la red. En la selección de trayecto TDR, en vez de determinar las tablas de encaminamiento óptimas de acuerdo con la información en tiempo real, un sistema centralizado de diseño de corredor de anchura de banda emplea un modelo de diseño, según se describe en la Rec. UIT-T E.360.6. La efectividad del diseño depende de cómo se puede estimar con exactitud la carga de tráfico de la red. Los errores de previsión son corregidos en el proceso de gestión de capacidad a corto plazo, lo que permite actualizar las tablas de encaminamiento para sustituir los aumentos de enlaces siempre que sea posible, como se describe en la Rec. UIT-T E.360.7.

9 Selección de trayecto de encaminamiento dependiente de estado (SDR)

En SDR, las tablas de encaminamiento son alteradas automáticamente de acuerdo con el estado de la red. Para un método SDR dado, se aplican las reglas de las tablas de encaminamiento para determinar las opciones de trayecto en respuesta a la situación cambiante de la red, y se utilizan durante un periodo de tiempo relativamente corto. La información sobre el estado de la red puede ser recopilada en un procesador central de corredor de anchura de banda o ser distribuida a los nodos de la red. El intercambio de información puede ser realizado periódicamente o a petición. Los métodos SDR utilizan el principio de conexiones de encaminamiento por el mejor trayecto disponible de acuerdo con la información de estado de la red. Por ejemplo, en el método de encaminamiento menos cargado (LLR, *least loaded routing*), se calcula la capacidad residual de trayectos candidatos, y se selecciona para la conexión el trayecto que tiene la mayor capacidad residual. Es posible utilizar distintos niveles relativos de ocupación de enlace para definir los estados de carga del enlace, tales como estados levemente cargado, fuertemente cargado o anchura de banda no disponible. Los métodos para definir estos estados de carga del enlace se examinan en la Rec. UIT-T E.360.3. En general, los métodos SDR calculan un costo de trayecto para cada petición de conexión de acuerdo con distintos factores, tales como el estado de carga o el estado de congestión de los enlaces en la red.

En SDR, las tablas de encaminamiento son diseñadas fuera de línea por el ON o un procesador central de corredor de anchura de banda (BBP, *bandwidth broker processor*) mediante el uso de información de estado de topología de la red obtenida a través del intercambio de información con otros nodos y/o un BBP centralizado. Hay distintas implementaciones de SDR que se distinguen según:

- a) si el cálculo de las tablas de encaminamiento está distribuido entre los nodos de red o centralizado y efectuado en un BBP centralizado, y
- b) si el cálculo de las tablas de encaminamiento se hace periódicamente o conexión por conexión.

Esto resulta en tres implementaciones diferentes de SDR:

- a) SDR periódico centralizado (CP-SDR, *centralized periodic SDR*) – el BBP centralizado obtiene periódicamente la información de estado del enlace y de estado del tráfico de los

diversos nodos (por ejemplo cada 10 segundos) y calcula la tabla de encaminamiento óptima sobre una base periódica. Para determinar la tabla de encaminamiento óptima, el BBP ejecuta un procedimiento particular de optimización de tabla de encaminamiento, tal como LLR, y transmite periódicamente dichas tablas de encaminamiento a los nodos de red (por ejemplo cada 10 segundos).

- b) SDR periódico distribuido (DP-SDR, *distributed periodic SDR*) – cada nodo en la red SDR obtiene periódicamente la información de estado del enlace y del tráfico de todos los otros nodos (por ejemplo cada cinco minutos) y calcula la tabla de encaminamiento óptima sobre una base periódica (cada cinco minutos). Para determinar la tabla de encaminamiento óptima, el ON ejecuta un procedimiento particular de optimización de tabla de encaminamiento, tal como LLR.
- c) SDR distribuido conexión por conexión (DC-SDR, *distributed connection-by-connection SDR*) – un ON en la red SDR obtiene la información de estado de enlace y de estado de tráfico del DN y quizás de VN seleccionados, conexión por conexión y calcula la tabla de encaminamiento óptima para cada conexión. Para determinar dicha tabla, el ON ejecuta un procedimiento particular de optimización de tabla de encaminamiento, tal como LLR.

En la selección de trayecto DP-SDR, los nodos pueden intercambiar datos de estado y de tráfico, por ejemplo, cada cinco minutos, entre procesadores de gestión de tráfico, y de acuerdo con el análisis de estos datos, los procesadores de gestión de tráfico pueden seleccionar dinámicamente trayectos alternativos para optimizar el funcionamiento de la red. Este método se ilustra en la figura 4b. El mecanismo de envío de información de estado de enlace es una técnica común para distribuir los datos de estado y de tráfico, aunque se dispone también de otras técnicas con menos tara, tal como un método de indagación de estado, que se examina en la Rec. UIT-T E.360.4.

La figura 4b ilustra un método de selección de trayecto CP-SDR con actualizaciones periódicas basadas en el estado periódico de la red. La selección de trayectos CP-SDR proporciona decisiones de encaminamiento casi en tiempo real enviando cada cinco segundos una actualización de la anchura de banda en reposo en cada enlace a una base de datos de red. Las tablas de encaminamiento son determinadas a partir del análisis de los datos de estado utilizando un método de selección de trayecto que proporciona la utilización de la opción de trayecto más corto si la anchura de banda está disponible. Si el trayecto más corto está ocupado (por ejemplo, no hay anchura de banda disponible en uno o más enlaces) se selecciona el segundo trayecto de la lista de trayectos factibles según el mayor nivel de anchura de banda en reposo en ese momento; la opción de segundo trayecto vigente se convierte en la tercera, y así sucesivamente. Esta actualización de trayecto se efectúa, por ejemplo, cada cinco segundos. El modelo CP-SDR utiliza reserva de anchura de banda activada dinámicamente y otros controles para modificar automáticamente las tablas de encaminamiento durante las sobrecargas y fallos de la red. CP-SDR requiere el uso de mensajes de intercambio de información sobre el estado de la red y recomendación de encaminamiento.

La figura 4b ilustra también un ejemplo de un método de selección de trayecto DC-SDR, en el cual los cálculos de encaminamiento están distribuidos entre todos los nodos de la red. DC-SDR utiliza intercambio de información de estado de la red en tiempo real, tal como mensajes de indagación y de estado, para determinar un trayecto óptimo entre un número muy grande de posibles opciones. Con DC-SDR, el nodo de origen intenta primero el trayecto primario, y si no está disponible, encuentra un trayecto alternativo óptimo indagando al nodo de destino y quizás a varios nodos intermedios a través de la señalización de red de indagación del estado de carga ocupado-en reposo de todos los enlaces conectados por los trayectos alternativos al nodo de destino. El nodo de origen halla entonces el trayecto alternativo menos cargado para encaminar la petición de conexión. El método DC-SDR calcula las asignaciones de anchura de banda requeridas por red virtual de los flujos de tráfico medidos del nodo y utiliza esta asignación de capacidad para reservar capacidad cuando sea necesario para cada red virtual. Todo exceso de tráfico por encima del flujo previsto es

encaminado a capacidad en reposo temporalmente tomada de la capacidad reservada para otras cargas que estén por debajo de sus niveles previstos. Se comunica la capacidad de enlaces en reposo a otros nodos mediante los mensajes de intercambio de información de indagación de estado, como se ilustra en la figura 4b y el tráfico en exceso es asignado dinámicamente al conjunto de trayectos autorizados que según se ha identificado tienen capacidad temporalmente en reposo. DC-SDR controla la compartición de capacidad disponible utilizando reserva dinámica de anchura de banda, como se describe en la Rec. UIT-T E.360.3, con el fin de proteger la capacidad requerida para satisfacer cargas previstas y minimizar la pérdida de tráfico para clases de servicio que rebasan su carga prevista y capacidad asignada.

Los trayectos en la tabla de encaminamiento SDR pueden consistir en el enlace directo, un trayecto de dos enlaces a través de un solo VN, o un trayecto multienlaces a través de múltiples VN. Los trayectos en la tabla de encaminamiento están sujetos a restricciones de DoS en cada enlace.

10 Selección de encaminamiento dependiente de evento (EDR)

En el método EDR, las tablas de encaminamiento son actualizadas localmente según las conexiones progresan o fracasan por un trayecto dado. En los métodos de aprendizaje de EDR, el último trayecto intentado, que es también satisfactorio, es intentado de nuevo hasta que es bloqueado, en cuyo momento se selecciona otro trayecto aleatoriamente y se intenta la siguiente petición de conexión. Las opciones de trayecto EDR pueden ser cambiadas con tiempo, de acuerdo con los cambios de los patrones de carga de tráfico. La selección de trayecto EDR satisfactorio hasta el final (STT, *success-to-the-top*), ilustrado en la figura 4b, es un método de selección de trayecto en línea descentralizado con actualización basada en encaminamiento aleatorio. STT-EDR utiliza un método de aprendizaje descentralizado simplificado para lograr un encaminamiento adaptable flexible. El trayecto primario, trayecto-p, se utiliza primero si está disponible, y se utiliza un trayecto alternativo satisfactorio vigente, trayecto-s, hasta que se bloquee. Si ese trayecto-s se bloquea (por ejemplo, no hay anchura de banda disponible en uno o más enlaces), se selecciona aleatoriamente un trayecto-n alternativo como la opción de trayecto alternativo para el siguiente desbordamiento de petición de conexión del trayecto primario. Como se describe en la Rec. UIT-T E.360.3, en condiciones de congestión se utiliza reserva de anchura de banda activada dinámicamente para proteger el tráfico por el trayecto primario. STT-EDR utiliza reencaminamiento automático hacia atrás cuando un trayecto alternativo está bloqueado en un nodo intermedio, y la petición de conexión avanza hacia una nueva opción de trayecto aleatorio. Con STT-EDR, es posible intentar muchas opciones de trayecto para una petición de conexión dada antes de que la petición sea bloqueada.

En los métodos de aprendizaje de EDR, la opción de trayecto alternativo vigente puede ser actualizada aleatoriamente, cíclicamente, o por algún otro medio, y puede ser mantenida mientras se pueda establecer satisfactoriamente una conexión por el trayecto. En consecuencia, la tabla de encaminamiento se construye con la información determinada durante el establecimiento de la conexión, y el ON no requiere información adicional. Los trayectos en la tabla de encaminamiento EDR pueden consistir en el enlace directo, un trayecto de dos enlaces a través de un solo VN, o un trayecto multienlaces a través de múltiples VN. Los trayectos en la tabla de encaminamiento están sujetos a restricciones de en cada enlace. Obsérvese que para SDR o EDR, como en el caso de TDR, el trayecto alternativo para una petición de conexión puede ser cambiado de una manera dependiente del tiempo, considerando la variación temporal de la carga de tráfico.

11 Encaminamiento entre dominios

En la práctica actual, los protocolos de encaminamiento entre dominios generalmente no incorporan gestión de recursos de selección de trayecto normalizado o por clase de servicio. Por ejemplo, en las redes basadas en IP, el BGP [RL00] se utiliza para encaminamiento entre dominios pero no incorpora asignación de recursos por clase de servicio como se describe en esta cláusula. Por otra

parte, las técnicas MPLS no han sido tratadas aún para aplicaciones entre dominios. Por consiguiente, cabe considerar las extensiones a métodos de encaminamiento entre dominios examinadas en esta cláusula para ampliar los conceptos de encaminamiento de llamada y de conexión para el encaminamiento entre dominios de redes.

Muchos de los principios descritos para el encaminamiento intradominio pueden ser ampliados al encaminamiento entre dominios. Como se ilustra en la figura 5, los trayectos de encaminamiento entre dominios pueden ser divididos en tres tipos:

- un trayecto más corto primario entre el dominio de origen y el dominio de destino;
- trayectos alternativos con todos los nodos en el dominio de origen y en el dominio de destino; y
- trayectos alternativos o de tránsito a través de otros dominios de tránsito.

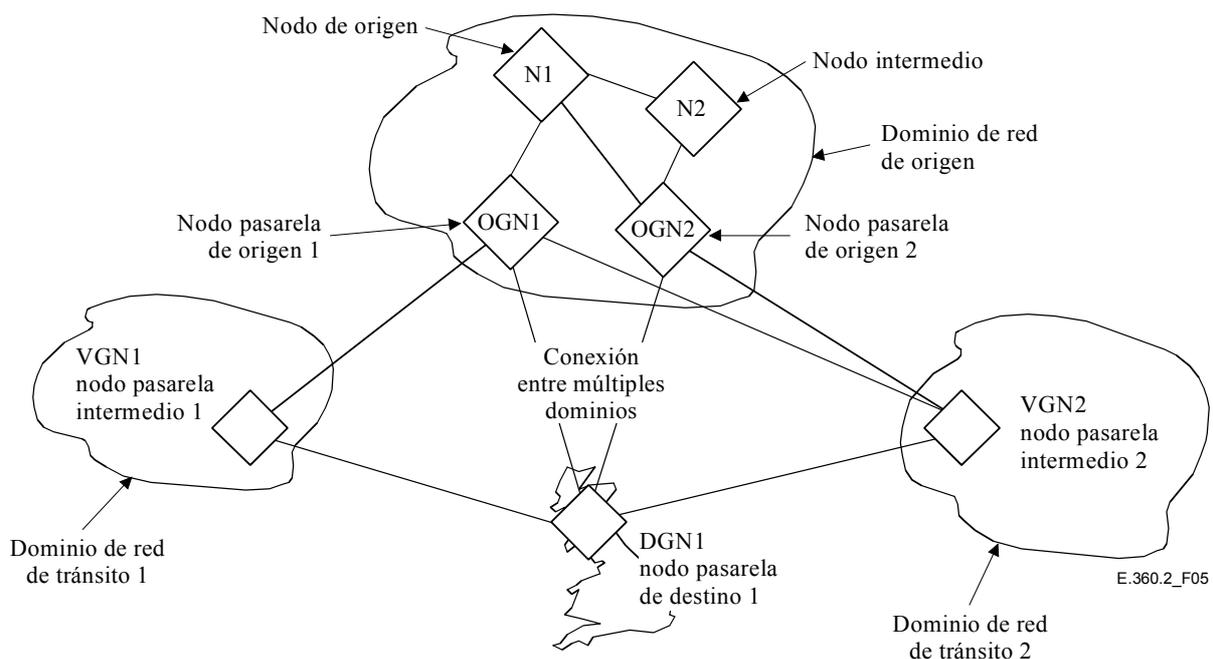


Figura 5/E.360.2 – Encaminamiento entre dominios con múltiples ingresos/egresos

El encaminamiento entre dominios puede soportar una capacidad de múltiples ingresos/egresos, como se ilustra en la figura 5 en la cual una petición de conexión es encaminada por el trayecto más corto o, si éste no está disponible, por un trayecto alternativo a través de cualquiera de los otros nodos desde el nodo de origen a un nodo pasarela.

Dentro de una red de origen, una red de destino podría ser servida por más de un nodo pasarela, tal como OGN1 y OGN2 en la figura 5, en cuyo caso se utiliza el encaminamiento con múltiples ingresos/egresos. Como se ilustra en la figura 5, una petición de conexión del nodo de origen N1 destinada al nodo pasarela de destino DGN1 intenta primero acceder a los enlaces del nodo pasarela de origen OGN2 a DGN1. Al hacer esto es posible que la petición de conexión pueda ser encaminada del N1 al OGN2 directamente o por N2. Si no se dispone de anchura de banda de OGN2 a DGN1, el control de la petición de conexión puede ser devuelto a N1 con un indicador de reencaminamiento automático hacia atrás/anchura de banda no disponible, después de lo cual la petición de conexión es encaminada a OGN1 para acceder a la anchura de banda de OGN1 a DGN1. Si la petición de conexión no puede ser completada por el enlace que conecta el nodo pasarela OGN1 a DGN1, la petición de conexión puede volver al nodo de origen N1 utilizando un indicador de reencaminamiento automático hacia atrás/anchura de banda no disponible para el posible encaminamiento ulterior a otro nodo pasarela (no mostrado). De esta manera, se utiliza toda

la conectividad de ingreso/egreso a una red conectadora, maximizando así la compleción y fiabilidad de la petición de conexión.

Una vez que la petición de conexión alcanza un nodo pasarela de origen (tal como OGN1 u OGN2), este nodo determina el encaminamiento al nodo pasarela de destino DGN1 y encamina en consecuencia la petición de conexión. Al completar la petición al DGN1, un nodo pasarela de origen puede seleccionar dinámicamente un trayecto más corto directo, un trayecto alternativo a través de un nodo alternativo en la red de destino, o quizás un trayecto alternativo a través de un nodo alternativo en otro dominio de red. Por tanto, con el encaminamiento entre dominios, las peticiones de conexión son encaminadas primero a un trayecto primario más corto entre los dominios de origen y de destino, después a una lista de trayectos alternativos a través de nodos alternativos en el dominio de red de terminación, después a una lista de trayectos alternativos a través de nodos alternativos en el dominio de red de origen (por ejemplo, OGN1 y OGN2 en la figura 5), y por último a una lista de trayectos alternativos a través de nodos en otros dominios de red de tránsito.

Como ejemplos de proyectos alternativos que pudieran ser seleccionados a través de un dominio de red de tránsito cabe citar N1-OGN1-VGN1-DGN1, N1-OGN1-VGN2-DGN1 o N1-N2-OGN2-VGN2-DGN1 en la figura 5. Estos trayectos a través de dominios de red de tránsito pueden ser intentados como última opción en la configuración de red mostrada en la figura. Por ejemplo, el encaminamiento flexible entre dominios puede tratar de hallar un trayecto alternativo disponible basado en los estados de carga de enlace, cuando son conocidos, y en la compleción de la petición de conexión, cuando puede ser inferida. Es decir, el nodo pasarela de origen (por ejemplo el nodo OGN1 en la figura 5) puede utilizar su estado de enlace a un nodo intermedio en un dominio de tránsito (por ejemplo, los enlaces OGN1-VGN1 y OGN1-VGN2) en combinación con la compleción de petición de conexión del nodo intermedio candidato al nodo de destino en el dominio de red de destino, con el fin de hallar el trayecto más disponible para encaminar la petición de conexión. Para cada trayecto, se sigue un estado de carga y un estado de compleción. El estado de carga indica si la anchura de banda del enlace del nodo pasarela al nodo intermedio está ligeramente cargado, muy cargado, reservado u ocupado. El estado de compleción indica si un trayecto está logrando una compleción por encima del promedio, una compleción promedio o una compleción por debajo del promedio. La selección de un trayecto intermedio se basa en el estado de carga y en el estado de compleción. Cada trayecto alternativo en el mismo dominio de red de destino y en un dominio de red de tránsito es considerado separadamente. Durante periodos de congestión, la anchura de banda de enlace a un nodo intermedio candidato puede estar en un estado reservado, en cuyo caso la anchura de banda de enlace restante está reservada para encaminar tráfico directamente al nodo intermedio candidato. Durante periodos sin congestión, la capacidad no requerida por una red virtual se pone a disposición de otras redes virtuales que están experimentando cargas por encima de su asignación.

De manera similar al encaminamiento intradominio, el encaminamiento entre dominios puede usar estados de carga discreta para enlaces entre dominios que terminan en el dominio de origen (por ejemplo enlaces OGN1-VGN1, OGN1-DGN1, OGN2-DGN1). Como se describe en la Rec. UIT T E.360.3, estos estados de carga de enlace podrían incluir los estados levemente cargado, fuertemente cargado, reservado y ocupado/anchura de banda no disponible, en los cuales la anchura de banda de enlace en reposo se compara con los umbrales de estado de carga para el enlace con el fin de determinar su condición de carga. La proporción de compleción es seguida en los diversos trayectos intermedios (tal como el trayecto a través del nodo intermedio VGN1 o VGN2 al nodo de destino DGN1 en la figura 5) teniendo en cuenta la información relativa a la compleción satisfactoria o no compleción de una petición de conexión a través del nodo intermedio. Se anota no compleción o fallo para la petición de conexión si se recibe un mensaje de liberación de señalización desde el extremo distante después que la petición de conexión toma un enlace de salida indicando un valor de causa no completada por la red. Si no se recibe este mensaje de liberación de señalización después que la petición de conexión toma la capacidad en el enlace de salida, se anota

que la petición de conexión ha tenido éxito. Cada nodo pasarela mantiene un registro histórico de compleción de petición de conexión que indica el éxito o fallo, por ejemplo de las últimas 10 peticiones de conexión que utilizan un determinado trayecto intermedio, y abandona el registro más antiguo y añade la compleción de petición de conexión para la petición más reciente por ese trayecto. Sobre la base del número de compleciones de petición de conexión con respecto al número total de peticiones de conexión, se calcula el estado de compleción.

De acuerdo con los estados de compleción, las peticiones de conexión son encaminadas normalmente por el primer trayecto con un estado de compleción alta con un enlace de salida levemente cargado. Si este trayecto no existe, se selecciona un trayecto que tenga un estado de compleción mediana con un enlace de salida levemente cargado, seguido por un trayecto que tiene un estado de compleción baja con un enlace de salida levemente cargado. Si no se dispone de ningún trayecto con un enlace de salida levemente cargado, y si la profundidad de búsqueda permite utilizar un enlace de salida fuertemente cargado, se buscan los trayectos con enlaces de salida fuertemente cargados por orden de compleción alta, compleción mediana y compleción baja. Si ninguno de estos trayectos está disponible, se buscan trayectos con enlaces de salida reservados en el mismo orden, basándose en el estado de compleción de petición de conexión, si la profundidad de búsqueda permite utilizar un enlace de salida reservado.

Las reglas para seleccionar los trayectos primarios y los trayectos alternativos más cortos para una petición de conexión son regidas por la disponibilidad de anchura de banda de trayecto más corto y la congestión de nodo a nodo. La secuencia de trayecto consiste en el trayecto más corto primario, trayectos alternativos levemente cargados, trayectos alternativos fuertemente cargados y trayectos alternativos reservados. Primero se seleccionan los trayectos alternativos que incluyen nodos solamente en los dominios de origen y de destino, y después se seleccionan a través de dominios de tránsito, si es necesario.

De este modo, se ha ilustrado que cabe considerar los métodos de encaminamiento entre dominios para ampliar los conceptos de encaminamiento de la llamada y de la conexión intradominio, tales como selección de trayecto flexible y selección de anchura de banda por cada clase de servicio, para el encaminamiento entre dominios de red.

12 Conclusiones/recomendaciones

Se han examinado los métodos de encaminamiento de la llamada y de la conexión empleados en las funciones TE, así como varias alternativas de encaminamiento de la conexión, a saber, los métodos FR, TDR, EDR y SDR. Se han presentado modelos para ilustrar el diseño de red y los compromisos de calidad de funcionamiento entre los muchos métodos TE explicados en la Recomendación, y se exponen las conclusiones sobre las ventajas de las diversas opciones de encaminamiento y topología en la explotación de la red. Se considera que las estrategias de encaminamiento multienlaces de topología de baja densidad basadas en paquetes (por ejemplo, MPLS/TE) ofrecen varias ventajas.

Se presentan las siguientes conclusiones/recomendaciones:

- Se recomienda aplicar los métodos TE, y en todos los casos en que se aplican estos métodos, el funcionamiento de la red es siempre mejor y en general es sustancialmente mejor que cuando no se aplican dichos métodos.
- Se recomiendan las redes de encaminamiento por multienlaces de topología de baja densidad y proporcionan mejor funcionamiento global en condiciones de sobrecarga que las redes de topología en malla, pero para el funcionamiento en condiciones de fallo cabe favorecer las opciones de topología en malla STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces con más opciones de encaminamiento alternativo.
- Se recomiendan topologías simples de una sola zona que proporcionan un funcionamiento de red mejor y, como se examina y modela en la Rec.UIT-T E.360.6, ofrecen mayor

eficacia de diseño en comparación con las topologías jerárquicas de múltiples zonas. Como se ilustra en la Rec. UIT-T E.360.4, es posible obtener zonas administrativas mayores mediante la utilización de métodos TE basados en EDR en comparación con los métodos TE basados en SDR.

- Se recomiendan los métodos de selección de trayecto de TE con encaminamiento dependiente del evento (EDR) que proporcionan un funcionamiento de red comparable o mejor que los métodos de encaminamiento dependiente del estado (SDR).
 - a) Los métodos TE con EDR han demostrado ser una clase importante de algoritmos TE. Los métodos TE con EDR son distintos de los métodos TE con TDR y SDR en la manera de seleccionar los trayectos (por ejemplo, trayectos MPLS o LSP). En el caso de TE con SDR, la anchura de banda de enlace disponible (basada en el flujo LSA de información ALB) se utiliza generalmente para calcular el trayecto. En el caso de TE con EDR, la información ALB no es necesaria para calcular el trayecto, por lo que no se requiere el flujo ALB (y se reduce así la tara).
 - b) Los algoritmos TE con EDR son adaptables y distribuidos por naturaleza y utilizan típicamente modelos de aprendizaje para hallar trayectos adecuados de TE en una red. Por ejemplo, en un método TE con EDR satisfactorio hasta el final (STT), si hay que modificar la anchura de banda LSR-A a LSR-B, es decir, aumentarla por la delta de anchura de banda (DBW, *delta-BW*), el LSP-p primario se intenta primero. Si no se dispone de DBW en uno o más enlaces de LSP-p, se intenta después el LSP-s vigente. Si no se dispone de DBW en uno o más enlaces de LSP-s, se busca un nuevo LSP tratando trayectos candidatos adicionales hasta que se encuentra un nuevo LSP-n adecuado o se agotan los trayectos candidatos. Después se marca LSP-n como el trayecto vigente adecuado para la próxima vez que la anchura de banda tiene que ser modificada. Se demuestra que el funcionamiento de los métodos TE con EDR es igual o mejor que los métodos con SDR, centralizados o distribuidos.
 - c) Aunque los modelos TE con SDR utilizan típicamente flujo de información de anchura de enlace disponible (ALB, *available-link bandwidth*) para la selección de trayecto TE, los métodos TE con EDR no requieren el flujo de información ALB. En cambio, los métodos TE con EDR buscan típicamente capacidad mediante modelos de aprendizaje como en el método STT anterior. El flujo ALB puede requerir muchos recursos, porque necesita anchura de banda de enlace para transportar LSA, capacidad de procesador para procesar LSA y la tara puede limitar el tamaño de la zona/sistema autónomo (AS). Los resultados de los modelos muestran que con los métodos TE con EDR se puede lograr una gran reducción de la tara de flujo de información ALB sin pérdida del caudal de red (como se muestra en la Rec. UIT-T E.360.4).
 - d) La información de estado utilizada por las opciones con SDR (igual que el flujo de información de estado del enlace) proporciona un funcionamiento esencialmente equivalente a las opciones con EDR, que utilizan en general encaminamiento distribuido con reencaminamiento automático hacia atrás y sin flujo de información de estado de enlace.
 - e) Varios métodos de selección de trayecto pueden interfuncionar entre sí en la misma red, como se requiere para el funcionamiento de redes de múltiples fabricantes.
- Se recomiendan los métodos de encaminamiento entre dominios que amplían los conceptos de encaminamiento de llamada intradominio y de encaminamiento de conexiones, tales como la selección flexible de trayectos y la selección de anchura de banda por clase de servicio, para el encaminamiento entre dominios de red.

Anexo A

Modelado de métodos de ingeniería de tráfico

En la presente Recomendación se utiliza un modelo de nodos de red nacional completa junto con un modelo de demanda de tráfico multiservicios para estudiar distintos escenarios y compromisos de TE. En la figura A.1 se ilustra el modelo nacional de 135 nodos.

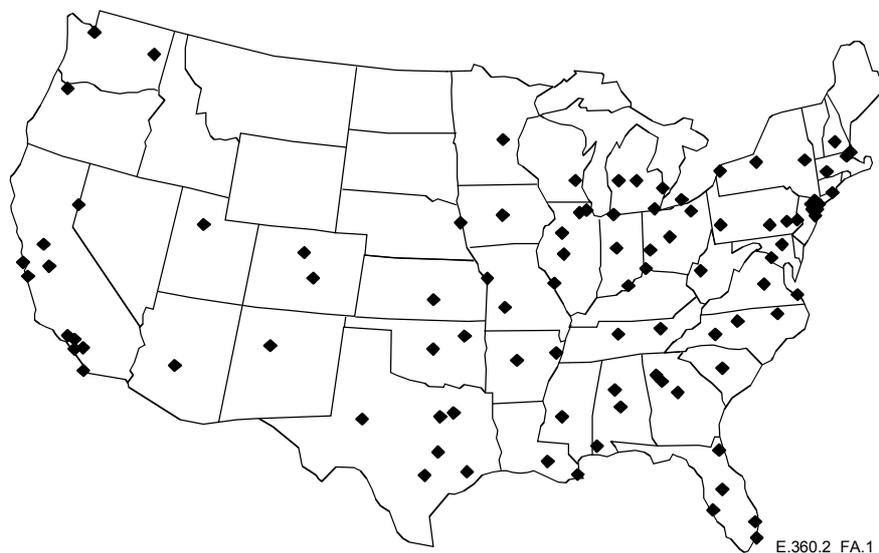


Figura A.1/E.360.2 – Modelo de red nacional con nodos

Se utilizan cargas típicas de tráfico vocal/RDSI para modelar las distintas alternativas de red, que se basan en un periodo de 72 horas de carga de red nacional completa. Los cuadros A.1a, A.1b y A.1c resumen el modelo de tráfico multiservicios empleado en los estudios de TE. Se indican tres niveles de prioridad de tráfico: clave, normal y de mejor esfuerzo, para las diversas categorías de clase de servicio, o redes virtuales (VNET, *virtual networks*), según se ilustra en los cuadros A.1a-A.1c. La clase de servicio, prioridad de tráfico y gestión de recursos orientados a QoS se examinan más detalladamente en la Rec. UIT-T E.360.3.

Las cargas de tráfico vocal/RDSI se segmentan en el modelo en ocho VNET de velocidad binaria constante (CBR, *constant-bit-rate*), que incluyen los servicios voz comercial, voz residencial o de consumidor, voz internacional entrante y saliente, voz con servicio clave, datos RDSI a 64 kbit/s con servicio normal y clave, y datos RDSI a 384 kbit/s. Para los servicios vocales CBR, se supone que la velocidad de datos media es 64 kbit/s para todas las VNET, salvo la VNET-8 de datos RDSI a 384 kbit/s, cuya velocidad de datos media es 384 kbit/s.

**Cuadro A.1a/E.360.2 – Modelo de tráfico de red virtual (VNET)
utilizada para los estudios de TE**

Índice de red virtual	Nombre de red virtual	Ejemplos de identidad de servicio	Prioridad de tráfico y características de tráfico de red virtual
VNET-1 (CBR)	Voz comercial	Red privada virtual (VPN) Conexión directa 800 Servicio 800 Servicio 900	Prioridad normal CBR a 64 kbit/s Datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-2 (CBR)	Voz consumidor	Servicio de larga distancia (LDS)	Prioridad normal CBR a 64 kbit/s Datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-3 (CBR)	Voz internacional saliente	LDS internacional saliente Internacional 800 saliente VPN mundial saliente Tránsito internacional	Prioridad normal CBR a 64 kbit/s Datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-4 (CBR)	Voz internacional entrante	LDS internacional entrante Internacional 800 entrante VPN mundial entrante Tránsito internacional entrante	Prioridad clave CBR a 64 kbit/s Datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-5 (CBR)	800-gold (clave)	Conexión directa gold 800 gold 800 VPN-clave	Prioridad clave CBR a 64 kbit/s datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-6 (CBR)	RDSI a 64 kbit/s	Servicio digital conmutado (SDS) a 64 kbit/s Servicio digital conmutado internacional a 64 kbit/s	Prioridad normal CBR a 64 kbit/s datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-7 (CBR)	RDSI a 64 kbit/s (clave)	SDS y SDI a 64 kbit/s (clave)	Prioridad clave CBR a 64 kbit/s Datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-8 (CBR)	384 kbit/s RDSI	SDS a 384 kbit/s SDI a 384 kbit/s	Prioridad normal CBR a 384 kbit/s Datos de carga de tráfico de 72 horas (sábado, domingo, lunes, 1998)
VNET-9 (VBR-RT)	Telefonía IP velocidad variable Asignación de anchura de banda equivalente Interactiva y sensible al retardo	Telefonía IP Voz comprimida	Prioridad normal Velocidad variable Asignación de anchura de banda equivalente interactivo y sensible al retardo VBR-RT: 10% de carga de tráfico de VNET1+VNET2+VNET3+VNET4+VNET5 La velocidad de datos de llamada varía de 6,4 kbit/s a 51,2 kbit/s (media de 25,6 kbit/s)
VNET-10 (VBR-NRT)	Multimedios IP velocidad variable Asignación de anchura de banda equivalente No interactiva e insensible al retardo	Multimedios IP WWW Comprobación de tarjeta de crédito	Prioridad normal Velocidad variable Asignación de anchura de banda equivalente No interactivo e insensible al retardo; VBR-RT: 30% de carga de tráfico de VNET2 La velocidad de datos de llamada varía de 38,4 kbit/s a 64 kbit/s (media de 51,2 kbit/s)
VNET-11 (UBR)	Mejor esfuerzo con UBR Velocidad variable Ninguna asignación de anchura de banda No interactiva e insensible al retardo	Correo vocal Correo electrónico Transferencia de ficheros	Prioridad de mejor esfuerzo Velocidad variable Asignación de anchura de banda equivalente No interactivo e insensible al retardo UBR: 30% de carga de tráfico de VNET La velocidad de datos de llamada varía de 6,4 kbit/s a 3072 kbit/s (media de 1536 kbit/s)

Cuadro A.1b/E.360.2 – Modelo de tráfico de red virtual (VNET) utilizada para los estudios de TE

Número medio de flujos por horas cargadas de red (CST)									
Índice de red virtual	Nombre de red virtual	Domingo 8:00 pm	Lunes 10:00 am	Lunes 11:00 am	Lunes 2:00 pm	Lunes 3:00 pm	Lunes 4:00 pm	Lunes 8:00 pm	Lunes 9:00 pm
VNET-1 (CBR)	Voz comercial	108 459,3	616 190,8	678 423,2	672 853,4	676 348,1	661 489,9	232 997,4	193 837,5
VNET-2 (CBR)	Voz consumidor	457 580,8	247 198,4	269 968,7	258 178,2	263 387,9	280 522,8	465 911,6	484 810,9
VNET-3 (CBR)	Voz INTL saliente	28 124,5	25 976,3	27 276,2	22 417,6	23 079,2	23 053,9	21 939,3	22 064,3
VNET-4 (CBR)	Voz INTL entrante (clave)	11 725,8	23 969,9	25 098,4	18 491,8	18 034,8	17 382,3	1 2112,0	12 239,6
VNET-5 (CBR)	Gold 800 (clave)	1 506,5	6 672,7	7 489,9	7 457,3	7 611,5	7 408,6	3 211,4	2 741,6
VNET-6 (CBR)	RDSI a 64 kbit/s	908,1	3 306,7	3 587,7	3 922,3	3 515,7	3 161,6	1 677,5	1 390,6
VNET-7 (CBR)	RDSI a 64 kbit/s (clave)	77,2	454,8	419,2	181,2	168,6	168,8	162,5	116,8
VNET-8 (CBR)	RDSI a 384 kbit/s	1,0	21,0	18,0	29,2	33,2	26,8	2,2	2,0
VNET-9 (VBR-RT)	Telefonía IP	60 739,8	92 000,8	100 825,9	97 940,1	9 8846,3	98 986,0	7 3616,9	71 567,2
VNET-10 (VBR-NRT)	Multi-medios IP	137 274,5	74 159,5	80 990,6	77 453,5	7 9016,2	84 156,8	139 773,5	145 443,2
VNET-11 (UBR)	Mejor esfuerzo con ubr	27 154,7	166 574,9	184 626,4	183 204,2	183 602,5	179 601,3	60 477,9	49 866,7
TOTAL		833 532,0	1 256 501,1	1 378 697,2	1 342 099,4	1 353 611,5	1 355 925,9	1 011 880,0	984 066,5

Cuadro A.1c/E.360.2 – Modelo de tráfico de red virtual (VNET) para estudios de TE

Volumen de datos medio (Mbit/s) por horas cargadas de red (CST)									
Índice de red virtual	Nombre de red virtual	Domingo 8:00 pm	Lunes 10:00 am	Lunes 11:00 am	Lunes 2:00 pm	Lunes 3:00 pm	Lunes 4:00 pm	Lunes 8:00 pm	Lunes 9:00 pm
VNET-1 (CBR)	Voz comercial	6 941,3	39 436,3	43 419,0	43 062,7	43 286,3	42 335,4	14 911,7	12 405,5
VNET-2 (CBR)	Voz consumidor	29 285,2	15 820,7	17 278,0	16 523,5	16 856,8	17 953,4	29 818,3	31 028,0
VNET-3 (CBR)	Voz INTL saliente	1 800,0	1 662,5	1 745,7	1 434,7	1 477,1	1 475,4	1 404,1	1 412,1
VNET-4 (CBR)	Voz INTL entrante (clave)	750,4	1 534,1	1 606,3	1 434,7	1 477,1	11 112,5	775,2	783,3
VNET-5 (CBR)	Gold 800 (clave)	96,4	427,1	479,4	477,3	487,1	474,2	205,5	175,5
VNET-6 (CBR)	RDSI a 64 kbit/s	58,1	211,6	229,6	251,0	225,0	202,3	107,4	89,0
VNET-7 (CBR)	RDSI a 64 kbit/s (clave)	4,9	29,1	26,8	11,6	10,8	10,8	10,4	7,5
VNET-8 (CBR)	RDSI a 384 kbit/s	0,4	8,1	6,9	11,2	12,8	10,3	0,9	0,8
VNET-9 (VBR-RT)	Telefonía IP	1 554,9	2 355,2	2 581,1	2 507,3	2 530,5	2 534,0	1 884,6	1 832,2
VNET-10 (VBR-NRT)	Multi-medios IP	7 028,5	3 797,0	4 146,7	3 965,6	4 045,6	4 308,8	7 156,4	7 446,7
VNET-11 (UBR)	Mejor esfuerzo con UBR	41 709,7	255 858,8	283 585,9	281 401,8	282 012,7	275 867,7	92 894,2	76 595,1
TOTAL		89 226,2	321 138,0	355 103,2	350 827,0	352 092,8	346 280,8	149 165,4	131 774,0

El modelo de tráfico de servicios de datos incorpora patrones de carga de tráfico típicas y comprende tres patrones de carga VNET adicionales. Estas VNET de servicios de datos comprenden:

- VNET-9 con velocidad binaria variable en tiempo real (VBR-RT), que representa servicios tales como telefonía IP y voz comprimida;
- VNET-10 con velocidad variable en tiempo no real (VBR-NRT) que representa servicios tales como multimedia WWW y comprobación de tarjeta de crédito; y
- VNET-11 con velocidad binaria no asignada (UBR, *unassigned bit rate*), que representa servicios tales como aplicaciones de correo electrónico, correo vocal y multimedia con transferencia de ficheros.

Para las conexiones VBR-RT, la velocidad de datos varía de 6,4 a 51,2 kbit/s con una media de 25,6 kbit/s. Se supone que las conexiones VBR-RT son interactivas y sensibles al retardo. Para las conexiones VBR-NR, la velocidad de datos varía de 38,4 a 64 kbit/s con una media de 51,2 kbit/s, y se supone que los flujos VBR-NRT son insensibles al retardo. Para las conexiones UBR, la velocidad de datos varía de 6,4 a 3072 kbit/s con una media de 1536 kbit/s y se supone que estos flujos son con de prioridad de mejor esfuerzo e insensibles al retardo. A los efectos del modelado, la anchura de banda del enlace se segmenta en intervalos de 6,4 kbit/s, es decir, 10 intervalos por canal de 64 kbit/s.

En este caso las cargas de tráfico varían dinámicamente y son seguidas por los modelos exponenciales examinados en la Rec. UIT-T E.360.3. El cuadro A.1b indica el número promedio de flujos para cada clase de servicio (VNET) en distintas horas cargadas de red, y el cuadro A.1c muestra el volumen de datos promedio en Mbit/s para cada clase de servicio (VNET) en diversas horas cargadas de red. Se puede observar que el tráfico voz/RDSI (es decir, las VNET 1-8 en los cuadros A.1a-A.1c) tiene una mayoría de los flujos (aproximadamente 75%) del total en las horas cargadas del lunes, en comparación con las distintas fuentes de tráfico "de datos" (es decir, las VNET 9-11 en los cuadros A.1a-A.1c). Sin embargo, el tráfico voz/RDSI tiene una minoría del volumen de datos de tráfico total (aproximadamente 70-80%) de la demanda total en Mbit/s, en comparación con las diversas fuentes de tráfico "de datos" (es decir, las VNET 9-11 en los cuadros A.1a-A.1c). El modelo se basa en las proyecciones de tráfico para los niveles de tráfico "de datos" y del tráfico voz/RDSI real, en los cuales el tráfico de datos que domina el tráfico voz/RDSI es un escenario realista en muchas proyecciones de tráfico.

El modelo de costos representa los costos típicos de conmutación y transporte, e ilustra las economías de escala de los costos proyectados para elementos de red de alta capacidad en el futuro. El cuadro A.2 muestra el modelo utilizado para los costos promedio de conmutación y transporte asignados por unidad de 64 kbit/s de anchura de banda, como sigue:

Cuadro A.2/E.360.2 – Hipótesis de costo (costo promedio por anchura de banda de 64 kbit/s equivalente)

Velocidad de datos	Costo de transporte promedio	Costo de conmutación/transconexión promedio
DS3	$0,19 \times \text{millas} + 8,81$	26,12
OC3	$0,17 \times \text{millas} + 9,76$	19,28
OC12	$0,15 \times \text{millas} + 7,03$	9,64
OC48	$0,05 \times \text{millas} + 2,77$	3,92

Se utiliza un modelo de diseño de red de eventos discretos, descrito en la Rec. UIT-T E.360.6, en el diseño y análisis de cinco métodos de encaminamiento de la conexión cuando se aplican los métodos TE: encaminamiento de trayecto 2-STT-EDR en una red lógica en malla, encaminamiento DC-SDR de dos enlaces en una red lógica en malla, y encaminamiento STT-EDR, DC-SDR y DP-SDR multienlaces, como pudiera ser soportado, por ejemplo, por TE con MPLS en una red lógica de baja densidad. Se presenta también el modelo del caso cuando no se aplican los métodos TE de encaminamiento de la llamada y de la conexión.

A continuación se describen los modelos de red para las redes STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces y STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR multienlaces. En los modelos STT-EDR y DC-SDR de dos enlaces se supone que hay 135 nodos con conmutación de paquetes (con MPLS o PNNI). Se supone también que hay conversión síncrona a asíncrona (SAC, *synchronous to asynchronous conversión*) en los nodos con conmutación de paquetes para conexiones de enlaces procedentes de los nodos con conmutación de circuitos. Se supone que los enlaces en estos modelos STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces proporcionan una asignación de anchura de banda de enlace lógico más afinada (nivel T1 de 1,536 Mbit/s), y entre los nodos resulta un diseño de topología de red en malla, es decir, existen enlaces entre la mayoría de los nodos (90% o más). En los modelos STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces, se utiliza un encaminamiento de uno y dos enlaces con reencaminamiento automático a través de la red. La selección de trayecto de dos enlaces se modela con la selección de trayecto STT y con la selección de trayecto SDR conexión por conexión distribuida (DC-SDR). Los nodos con conmutación de paquetes utilizan encaminamiento STT-EDR de dos enlaces o DC-SDR de dos enlaces. La puesta en cola con prioridad QoS se modela en los análisis de funcionamiento, en los cuales se da la prioridad más alta a los servicios clave, la prioridad media a los servicios normales y la prioridad más baja a los servicios de mejor esfuerzo en el modelo de puesta en cola. Este modelo cuantifica el nivel de tráfico retardado para cada red virtual. Al encaminar una conexión con encaminamiento STT-EDR de dos enlaces, el ON comprueba la anchura de banda equivalente y la DoS autorizada primero en el trayecto directo, después en el trayecto intermedio de dos enlaces satisfactorio vigente y después secuencialmente en todos los trayectos de dos enlaces candidatos. Al encaminar una conexión con DC-SDR de dos enlaces, el ON comprueba primero la anchura de banda equivalente y la DoS autorizada en el trayecto directo, y después en el trayecto menos cargado que satisface los requisitos de anchura de banda equivalente y de DoS. Cada VN comprueba la anchura de banda equivalente y la DoS autorizada proporcionados en el mensaje de establecimiento, y utiliza el reencaminamiento automático al ON si no se satisfacen estos requisitos de anchura de banda equivalente o DoS.

En el modelo STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR de multienlaces, se supone que hay 135 nodos con conmutación de paquetes. Como los enlaces OC3/12/48 de alta velocidad proporcionan asignación de anchura de banda de enlace muy alta, resulta un diseño de topología de red de baja densidad entre los nodos con conmutación de paquetes, es decir, existen enlaces OC3/12/48 de alta velocidad entre relativamente pocos nodos con conmutación de paquetes (10 a 20%). En segundo lugar, se utiliza selección del trayecto más corto de multienlaces con reencaminamiento automático hacia atrás a través de la red. Por ejemplo, el algoritmo STT EDR TE aplicado es adaptable y distribuido por naturaleza y emplea modelos de aprendizaje para hallar trayectos adecuados para TE en una red. Con STT-EDR, si hay que modificar la anchura de banda de LSR-A a LSR-B, digamos aumentarla por DBW, se intenta primero el LSP-p primario. Si DBW no está disponible en uno o más enlaces de LSP-p, se intenta a continuación el LSP-s satisfactorio vigente. Si DBW no está disponible en uno o más enlaces de LSP-s, se busca un nuevo LSP intentando trayectos candidatos adicionales hasta que se encuentra un nuevo LSP-n satisfactorio o se agotan los trayectos candidatos. Después se marca LSP-n como el trayecto satisfactorio vigente para la próxima vez que haya que modificar la anchura de banda.

La puesta en cola con prioridad QoS se modela en los análisis de calidad de funcionamiento, en los cuales se da la más alta prioridad a los servicios clave, la prioridad mediana a los servicios normales y la prioridad más baja a los servicios de mejor esfuerzo en el modelo de puesta en cola. Este

modelo cuantifica el nivel de tráfico retardado para cada red virtual. Las opciones de selección de trayectos multienlaces se modelan con selección de trayecto STT, selección de trayecto DC-SDR y selección de trayecto periódica distribuida (DP-SDR). En el modelo de DP-SDR, se actualiza la situación, que es modelada con actualizaciones de estado del enlace cada 10 segundos. Obsérvese que los resultados de calidad de funcionamiento con DP-SDR de multienlaces deben ser comparables también con la calidad de funcionamiento de SDR periódico centralizado de multienlaces (CP-SDR), en el cual las actualizaciones de estado y de selección de trayectos son efectuadas cada 10 segundos, respectivamente a y desde un BBP.

Al encaminar una conexión con selección de trayecto más corto de multienlaces con encaminamiento STT-EDR de dos enlaces, por ejemplo el ON comprueba primero la anchura de banda equivalente y la DoS autorizada en el trayecto de primera elección, después en el trayecto alternativo satisfactorio vigente y a continuación secuencialmente en todos los trayectos alternativos candidatos. También en este caso, cada VN comprueba la anchura de banda equivalente y la DoS autorizada y utiliza reencaminamiento automático al ON si no se satisfacen la anchura de banda equivalente o la DoS.

En los modelos el diseño de red lógica es optimizado para cada alternativa de encaminamiento, mientras que los enlaces de transporte físico y las ubicaciones de los nodos se mantienen fijos. Se examina la calidad de funcionamiento y los compromisos de diseño de red de:

- diseño de topología lógica (de baja densidad o en malla); y
- método de encaminamiento (dos enlaces, multienlaces, fijo, dinámico, SDR, EDR, jerárquico, no jerárquico, etc.).

Generalmente las topologías lógicas en malla son optimizadas mediante el encaminamiento de uno y dos enlaces, mientras que las topologías lógicas de baja densidad son optimizadas mediante el encaminamiento por trayecto más corto de multienlaces. Los resultados del modelado comprenden:

- diseños para encaminamientos dinámicos de dos enlaces (SDR, EDR) y de multienlaces (SDR, EDR);
- diseños para tráfico voz/RDSI solamente (VNET 1-8 en el cuadro A.1) y tráfico de datos solamente (VNET 9-11);
- diseños para tráfico de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11);
- diseños para encaminamiento jerárquico fijo;
- diseños cuando todo el tráfico vocal es comprimido (las VNET 1-5 y 9 utilizan las características de tráfico de telefonía IP de VNET 9);
- análisis de calidad de funcionamiento en casos de sobrecarga y fallos.

A.1 Comparaciones de diseños de red

En las figuras A.2, A.3 y A.4 respectivamente se ilustran los costos de diseño de red para diseños de voz/RDSI solamente (VNET 1-8 del cuadro A.1), para diseños de datos solamente (VNET 9-11 del cuadro A.1) y para diseños de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11 del cuadro A.1). Estos costos de diseño y detalles se examinan más ampliamente en la Rec. UIT-T E.360.6.

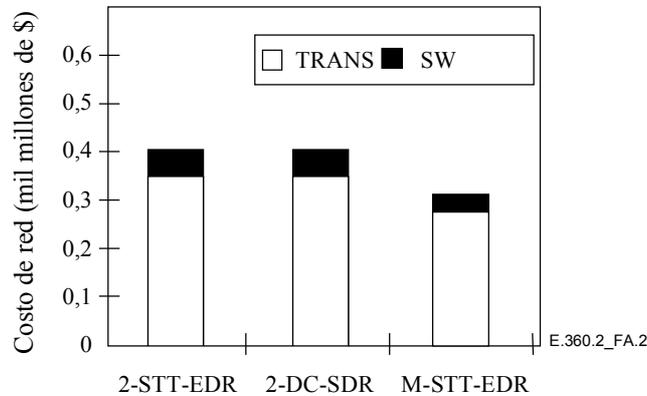


Figura A.2/E.360.2 – Costo de diseño de red vocal/RDSI (incluye tráfico para las VNET-1 a VNET-8 del cuadro A.1)

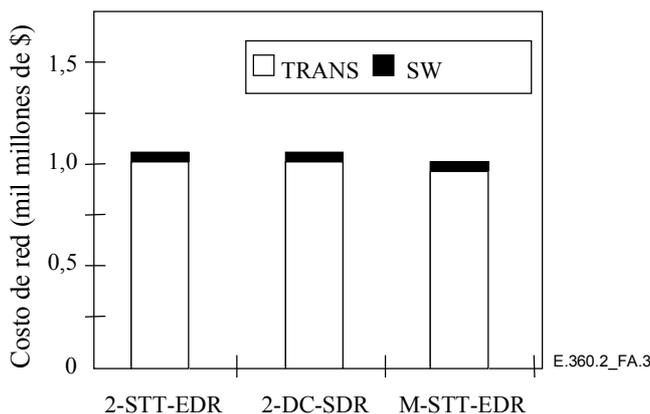


Figura A.3/E.360.2 – Costo de diseño de red vocal/RDSI (incluye tráfico para las VNET-9 a VNET-11 del cuadro A.1)

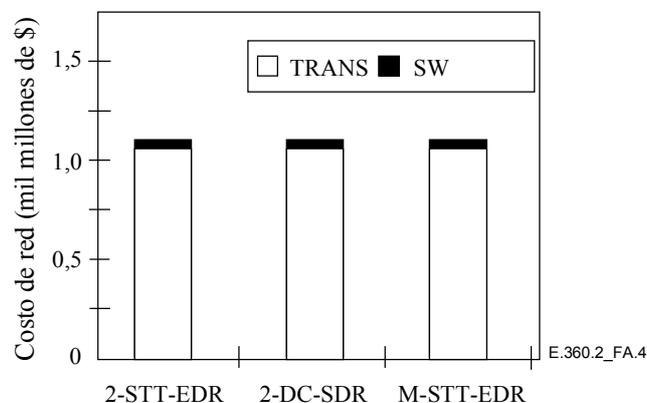


Figura A.4/E.360.2 – Costo de diseño de red vocal/RDSI (incluye tráfico para las VNET-1 a VNET-11 del cuadro A.1)

Los resultados de diseño muestran que las redes en malla lógicas con STT-EDR de dos enlaces DC-SDR de dos enlaces tienen una alta densidad de conexiones (90%+), mientras que las redes basadas en MPLS y PNNI multienlaces tienen una baja densidad de conexiones (10-20%). Las comparaciones de costos de red ilustran que las redes MPLS y PNNI de baja densidad presentan una pequeña ventaja desde el punto de vista del costo, porque aprovechan la mayor rentabilidad de los enlaces lógicos de gran anchura de banda (hasta OC48), como se refleja en el cuadro A.2. Sin embargo, estas diferencias de costo pueden no ser importantes, y pueden variar a medida que evolucionan los costos de los equipos y el costo relativo de los cambios de equipos de conmutación y transporte. Se ha investigado las sensibilidades de los resultados a las diferentes hipótesis de costos. Por ejemplo, si el costo relativo del transporte aumenta con respecto a la conmutación, las redes en malla de dos enlaces pueden parecer más eficaces que las redes de baja densidad de multienlaces. Estos resultados concuerdan con los presentados en otros estudios de redes lógicas en malla y de baja densidad, en función de los costos relativos de conmutación y transporte, véase por ejemplo [A98].

La comparación de los resultados de los diseños de voz/RDSI y datos separados y los diseños de voz/RDSI y datos integrados muestra que con la integración se logra cierta reducción de los costos de capital, de 5 a 20% aproximadamente. La mayor eficacia del diseño con integración se logra como resultado de las economías de escala de elementos de red de mayor capacidad, como se muestra en las hipótesis de costo del cuadro A.2. Sin embargo, probablemente son más importantes las economías operacionales de integración resultantes de la explotación de una sola red en vez de dos o más redes. Además, el funcionamiento de una red de voz y datos integrados tiene ventajas en cuanto a la compartición de capacidad, especialmente cuando diferentes clases de tráfico que tienen diferentes prioridades de encaminamiento, tales como servicio clave y servicio de mejor esfuerzo, están integradas y comparten la capacidad de la misma red. Estos resultados se informan a continuación. Un estudio de compresión de voz para todo el tráfico vocal, como pudiera ocurrir si se generaliza la telefonía IP, muestra que sería posible reducir los costos de capital de la red hasta un 10% si se sigue esta tendencia evolutiva. Un análisis del encaminamiento jerárquico fijo comparado con el encaminamiento dinámico ilustra que es posible lograr más del 20% de reducción de los costos de capital de red con el encaminamiento dinámico. Además, se obtienen también economías de explotación con una provisión más simple de las opciones de encaminamiento dinámico.

A.2 Comparaciones de la calidad de funcionamiento de la red

Los análisis de la calidad de funcionamiento en condiciones de sobrecarga y fallos comprenden el control de admisión de petición de conexión con gestión de recursos orientada a QoS. Como se examina en la Rec. UIT-T E.360.3, en el método de gestión de recursos orientada a QoS que se da como ejemplo, se distinguen los servicios clave, los servicios normales y los servicios de mejor esfuerzo. En los cuadros A.3, A.4 y A.5 se presentan comparaciones de la calidad de funcionamiento para diversos métodos TE, que incluyen los métodos EDR y SDR de dos enlaces y multienlaces, y un caso básico cuando no se aplican los métodos TE. El cuadro A.3 muestra los resultados de calidad de funcionamiento para una sobrecarga general del 30%, el cuadro A.4 muestra los resultados de calidad de funcionamiento para una sobrecarga séxtuple en un nodo de red, y el cuadro A.5 los resultados para el fallo de un enlace lógico.

Cuadro A.3/E.360.2 – Comparación de la calidad de funcionamiento con diversos métodos TE de encaminamiento de la conexión y sin métodos TE – 30% de sobrecarga general (% de tráfico perdido/retardado) (Modelo de red multiservicios de 135 nodos)

Red virtual	STT-EDR con 2 enlaces	DC-SDR con 2 enlaces	STT-EDR con multi-enlaces	DC-SDR con multi-enlaces	DP-SDR con multi-enlaces	Sin aplicación de métodos TE
Voz comercial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,18
Voz consumidor	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	2,61
Internacional saliente	5,40	4,82	0,00	0,00	0,00	3,62
Internacional entrante (clave)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,63
Voz servicio clave	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,27
Datos RDSI a 64 kbit/s	1,27	1,21	0,00	0,00	0,00	3,18
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,58
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,51
VOZ -VBR-RT	0,28	0,20	0,00	0,00	0,00	3,07
Multimedios con VBR-NRT	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	2,54
Multimedios con UBR	21,8	23,2	4,16	4,16	4,15	3,37

Cuadro A.4/E.360.2 – Comparación de la calidad de funcionamiento con diversos métodos TE de encaminamiento de la conexión y sin métodos TE – Sobrecarga centralizada sextuplicada en OKBK (% de tráfico perdido/retardado) (Modelo de red multiservicios de 135 nodos)

Red virtual	STT-EDR con 2 enlaces	DC-SDR con 2 enlaces	STT-EDR con multi-enlaces	DC-SDR con multi-enlaces	DP-SDR con multi-enlaces	Sin aplicación de métodos TE
Voz comercial	5,27	2,28	0,00	0,06	0,08	9,42
Voz consumidor	7,29	3,50	0,00	0,20	0,23	13,21
Internacional saliente	3,43	3,36	0,00	0,00	0,04	6,03
Internacional entrante (clave)	2,19	4,21	0,00	0,00	0,00	6,55
Voz servicio clave	0,81	1,77	0,00	0,00	0,00	8,47
Datos RDSI a 64 kbit/s	0,84	0,33	0,00	0,00	0,00	2,33
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voz VBR-RT	5,42	2,59	0,00	0,39	0,49	9,87
Multimedios con VBR-NRT	7,12	3,49	0,00	2,75	3,18	12,88
Multimedios con UBR	14,07	14,68	12,46	12,39	12,32	9,75

Cuadro A.5/E.360.2 – Comparación de la calidad de funcionamiento con diversos métodos TE de encaminamiento de la conexión y sin métodos TE – Fallo en el enlace CHCG-NYCM (% de tráfico perdido/retardado) (Modelo de red multiservicios de 135 nodos)

Red virtual	STT-EDR con 2 enlaces	DC-SDR con 2 enlaces	STT-EDR con multi-enlaces	DC-SDR con multi-enlaces	DP-SDR con multi-enlaces	Sin aplicar métodos de TE
Voz comercial	0,00	0,00	0,00	0,64	0,64	0,72
Voz consumidor	0,00	0,00	0,00	0,44	0,43	0,52
Internacional saliente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Internacional entrante (clave)	0,00	0,00	0,00	0,18	0,19	0,23
Vocal clave	0,00	0,00	0,00	0,46	0,51	0,58
Datos RDSI a 64 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,95	0,89	0,94
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Voz VBR-RT	0,00	0,00	0,00	0,55	0,55	0,62
Multimedios con VBR-NRT	0,00	0,00	0,00	0,44	0,42	0,51
Multimedios con UBR	2,06	1,65	0,17	0,64	0,64	0,72

En todos los casos en que se aplican los métodos TE, la calidad de funcionamiento de funcionamiento es siempre mejor y en general es mucho mejor que cuando no se aplican dichos métodos. Los resultados de los análisis de calidad de funcionamiento muestran que las opciones STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR multienlaces (en topologías de baja densidad) funcionan un poco mejor en condiciones de sobrecarga que las opciones STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces (en topologías en malla) debido a la mayor compartición de la capacidad de red. En condiciones de fallo, las opciones STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces funcionan mejor para muchas de las categorías de red virtual que las opciones STT-EDR/DC-SDR/CP-SDR multienlaces, porque tienen más opciones de trayectos de encaminamiento alternativos y una densidad de conexiones mucho mayor que las redes STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR multienlaces. La pérdida de un enlace en una red STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR multienlaces con baja densidad de conexiones puede tener consecuencias más graves que en redes lógicas con muchas conexiones. Los resultados de calidad de funcionamiento ilustran que con la compartición de capacidad de clases de tráfico CBR, VBR y UBR, combinada con la gestión de recursos orientada a QoS y la puesta en cola con prioridad se obtiene una utilización más eficaz de la anchura de banda y el retardo y pérdida de tráfico son mínimos, incluso en condiciones de sobrecarga y de fallo. Estas tendencias de la gestión de recursos orientada a QoS se examinan más detalladamente en la Rec. UIT-T E.360.3.

Los métodos de selección de trayecto STT y SDR son bastante comparables para las redes de topología en malla de dos enlaces, aunque el método de selección de trayecto STT funciona un poco mejor que las opciones SDR en el caso de topología de baja densidad multienlaces. Además, la opción de selección de trayecto DC-SDR funciona algo mejor que la opción CP-DCR en el caso de multienlaces, que resulta de la información de estado con 10 segundos de antigüedad, que en algunos casos conduce a la elección de trayectos mal encaminados. Por tanto, cabe concluir que la información de estado ALB frecuentemente actualizada no mejora necesariamente la calidad de funcionamiento en todos los casos y que si se utiliza información de estado ALB, algunas veces es mejor que sea una información de estado muy reciente.

A.3 Topología de red simple de una sola zona comparada con topología jerárquica de dos niveles de múltiples zonas

Se ha investigado también la calidad de funcionamiento de los diseños de redes jerárquicas, que representan la configuración topológica que cabe esperar con redes de múltiples zonas (o con múltiples sistemas autónomos, o múltiples dominios). En la figura A.5 se muestra el modelo considerado, que presenta 135 nodos de borde, cada uno de los cuales está dirigido hacia uno de los 21 nodos principales. Normalmente, los nodos de borde pueden estar agrupados en zonas o sistemas autónomos distintos, y los nodos principales en otra zona o sistema autónomo. Dentro de cada zona existe una topología de encaminamiento simple, aunque entre las zonas de borde y la zona principal existe una relación de encaminamiento jerárquica. Esta jerarquía de encaminamiento se modela en la Rec. UIT-T E.360.3 para los ejemplos de atribución de anchura de banda flujo por flujo y red virtual por red virtual, y aquí los resultados se indican para la situación de atribución por flujo detallada en los cuadros A.6 a A.8 para los casos de sobrecarga general del 30%, sobrecarga sextuplicada y fallo de enlace, respectivamente. Cabe observar que la calidad de funcionamiento de la red jerárquica es mucho peor que el modelo de red simple, con una sola zona o sistema autónomo de 135 nodos.

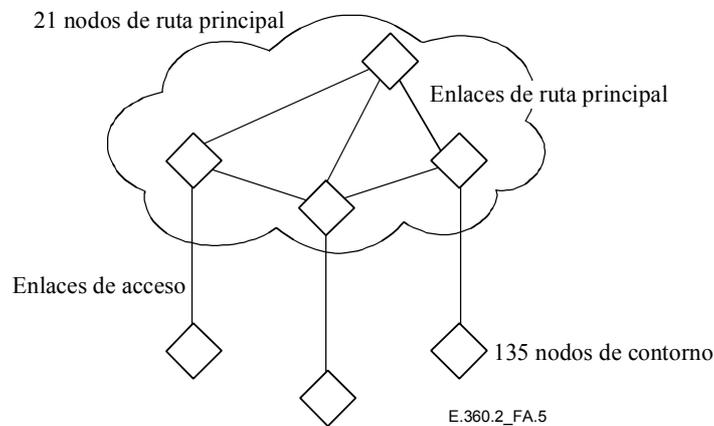


Figura A.5/E.360.2 – Modelo de red jerárquica

Cuadro A.6/E.360.2 – Calidad de funcionamiento de la topología de red simple de una sola zona comparada con la topología de red jerárquica de dos niveles de múltiples zonas – Porcentaje de tráfico perdido/retardado con 30% de sobrecarga general % (Encaminamiento STT-EDR multienlaces; modelo de red de 135 nodos)

Red virtual	Topología simple de una sola zona	Topología jerárquica de 2 niveles con múltiples zonas
Voz comercial	0,00	0,00
Voz consumidor	0,00	0,00
Internacional saliente	0,00	0,00
Internacional entrante (clave)	0,00	0,00
Voz servicio clave	0,00	0,00
SDS a 64 kbit/s	0,00	0,00
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00
Voz VBR-RT	0,00	0,00
Multimedios con VBR-NRT	0,00	0,00
Multimedios con UBR	4,16	9,06

Cuadro A.7/E.360.2 – Calidad de funcionamiento de la topología de red simple de una zona comparada con la topología de red jerárquica de dos niveles de múltiples zonas – Porcentaje de tráfico perdido/retardado con sobrecarga centralizada sextuplicada en OKBK (Encaminamiento STT-EDR multienlaces; modelo de red de 135 nodos)

Red virtual	Topología simple de una sola zona	Topología jerárquica de 2 niveles con múltiples zonas
Voz comercial	0,00	1,70
Voz consumidor	0,00	2,22
Internacional saliente	0,00	0,89
Internacional entrante (clave)	0,00	0,00
Voz servicio clave	0,00	0,00
Datos RDSI a 64 kbit/s	0,00	0,27
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00
Voz VBR-RT	0,00	0,93
Multimedios con VBR-NRT	0,00	1,80
Multimedios con UBR	12,46	12,88

Cuadro A.8/E.360.2 – Calidad de funcionamiento de la topología de red plana de una zona comparada con la topología de red jerárquica de dos niveles de múltiples zonas – Porcentaje de tráfico perdido/retardado en condición de fallo en el enlace CHCG-NYCM (Encaminamiento STT-EDR multienlaces; modelo de red de 135 nodos)

Red virtual	Topología simple de una sola zona	Topología jerárquica de 2 niveles con múltiples zonas
Voz comercial	0,00	0,00
Voz consumidor	0,00	0,00
Internacional saliente	0,00	0,00
Internacional entrante (clave)	0,00	0,00
Voz servicio clave	0,00	0,00
Datos RDSI a 64 kbit/s	0,00	0,00
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00
Voz VBR-RT	0,00	0,00
Multimedios con VBR-NRT	0,00	0,00
Multimedios con UBR	0,17	1,38

A.4 Conclusiones relativas al modelado de red

A continuación se resumen las conclusiones relativas al modelado de TE:

- 1) Es posible atribuir ventajas de costos de capital a las opciones de topología de baja densidad, tales como las opciones STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR multienlaces, pero pueden no ser importantes comparadas con los costos operacionales y están sujetas a los determinados aspectos de costos de la conmutación y el transporte. Los modelos de diseño de capacidad se detallan en la Rec. UIT-T E.360.6 y los aspectos operacionales en la Rec. UIT-T E.360.7.
- 2) En todos los casos en que se aplican los métodos TE, la calidad de funcionamiento es siempre mejor y en general es mejor que cuando no se aplican dichos métodos.
- 3) Las redes de topología de baja densidad con encaminamiento multienlaces proporcionan mejor funcionamiento global en condiciones de sobrecarga, pero en condiciones de fallo puede ser mejor utilizar STT-EDR/DC-SDR de dos enlaces con más opciones de encaminamiento alternativo. En las redes de topología de baja densidad con encaminamiento multienlaces un punto problemático es el retardo posterior a la marcación, pues quizás hay que conectar cinco o más enlaces para una petición de conexión.
- 4) Las topologías simples de una sola zona proporcionan mejor funcionamiento de la red y, como se examina en la Rec. UIT-T E.360.6, mayor eficacia de diseño en comparación con las topologías jerárquicas de múltiples zonas. Como se ilustra en la Rec. UIT-T E.360.4, se pueden obtener zonas administrativas mayores utilizando los métodos TE basados en EDR en comparación con los métodos TE basados en SDR.
- 5) La información de estado utilizada por las opciones SDR de dos enlaces y multienlaces sólo proporcionan una pequeña ventaja de costo de capital, y esencialmente la calidad de funcionamiento es equivalente a las opciones STT-EDR de dos enlaces, como se ilustra en los resultados de calidad de funcionamiento de la red.

- 6) Varios métodos de selección de trayecto pueden interfuncionar en la misma red, lo que se requiere para la explotación de redes de múltiples fabricantes.
- 7) La gestión de recursos orientada a QoS, que se describe en la Rec. UIT-T E.360.3, demuestra ser efectiva para lograr la diferenciación de servicios clave, normales y de mejor esfuerzos.
- 8) La integración de voz y datos puede reducir los costos de capital, pero puede ser más importante para simplificar la explotación y reducir los costos operativos.
- 9) Si la tecnología IP se afianza y una porción importante de las llamadas vocales utilizan tecnología de compresión de voz, ello aumentaría el funcionamiento eficaz de las redes.

Las estrategias de encaminamiento por redes de topología de baja densidad de multienlaces basadas en paquetes (por ejemplo, MPLS/TE) ofrecen varias ventajas. La topología lógica de baja densidad con enlaces de conmutación y transporte de alta velocidad puede proporcionar ventajas económicas debido al menor costo de los diseños de red logrados por las economías de escala de elementos de red de velocidad más alta. Las redes de baja densidad de enlaces lógicos y gran anchura de banda han demostrado responder mejor a las condiciones de sobrecarga que las redes en malla lógicas, debido a la mayor compartición de la capacidad de la red. Los protocolos de encaminamiento basados en paquetes tienen capacidades para la provisión automática de enlaces, nodos y direcciones alcanzables, lo que proporciona ventajas operacionales para estas redes. Como los diseños de red de topología de baja densidad de enlaces con gran anchura de banda pueden proporcionar un número de enlaces mucho menor que los diseños de red en malla (10-20% de conexiones en comparación con el 90% o más de conexiones para redes en malla), el trabajo de aprovisionamiento es menor. Además de tener que proporcionar un número menor de enlaces, los diseños de red con topología de baja densidad y enlaces de gran anchura de banda utilizan mayores incrementos de capacidad en cada enlace, por lo que habrá que hacer adiciones de capacidad con menos frecuencia que en las redes en mallas con muchas conexiones, que requerirían incrementos de capacidad mucho más pequeños en cada enlace. Los métodos de encaminamiento con multienlaces por redes de topología de baja densidad son sinérgicos con la evolución de los servicios de redes de datos que aplican estos protocolos, y estos métodos de encaminamiento han sido aplicados durante muchos años en las redes de datos. Si los proveedores de servicio prosiguen la integración de redes de voz/RDSI y servicios de datos, estos factores ayudarán a sustentar esta tendencia de integración.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación