



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.360.5

(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
transporte**

Recomendación UIT-T E.360.5

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.360.5

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

Resumen

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) 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 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), 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 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.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.360.5, 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 Principios de encaminamiento de transporte dinámico	2
6 Ejemplos de encaminamiento de transporte dinámico	7
7 Diseño de red de transporte fiable	13
7.1 Modelos de diseño de enlaces de transporte.....	14
7.2 Modelos de diseño de nodos.....	16
8 Conclusiones/recomendaciones	17
Anexo A – Modelado de métodos de ingeniería de tráfico.....	18
A.1 Diseño de capacidad de encaminamiento de transporte dinámico	18
A.2 Funcionamiento en caso de fallos de red.....	19
A.3 Funcionamiento en caso de sobrecargas de tráfico generales	21
A.4 Funcionamiento con sobrecargas imprevistas	21
A.5 Funcionamiento para cargas de tráfico en días punta.....	23

Introducción

La presente Recomendación describe y analiza las arquitecturas de red de transporte de acuerdo con la tecnología evolutiva para redes de banda ancha integradas. El encaminamiento de transporte dinámico ofrece ventajas de simplicidad de diseño y robustez en caso de variaciones de la carga y fallos de la red. Es posible combinar el encaminamiento de transporte dinámico con el encaminamiento de tráfico dinámico para cambiar la anchura de banda de transporte entre pares de nodos y servicios utilizando tecnología flexible de conmutación de transporte. El encaminamiento de transporte dinámico puede proporcionar la provisión automática de enlaces, el encaminamiento por diversos enlaces y el rápido restablecimiento de enlaces para la utilización y funcionamiento mejorados de la capacidad de transporte en condiciones de esfuerzo intenso.

Se presentan modelos de encaminamiento de transporte fiables para obtener un diseño de red fiable, con miras a prestar servicio para objetivos de restablecimiento predefinidos en cualquier caso de fallo de enlaces o nodos de transporte en la red y poder continuar suministrando conexiones a los clientes sin que se perciba esencialmente la interrupción del servicio. Se muestra que con técnicas de encaminamiento robustas, tales como encaminamiento de tráfico dinámico, encaminamiento por múltiples ingresos/egresos y encaminamiento por diversidad de enlaces lógicos se responde mejor a los fallos de nodos o de transporte.

Los dispositivos de transconexión, tales como transconectores ópticos (OXC, *optical cross-connects*), son capaces de transmitir canales de transporte, por ejemplo, canales OC48, hacia diferentes enlaces de transporte de más alta capacidad, tales como un canal multiplexado por distribución en longitud de onda en un cable de fibra óptica. Los trayectos de transporte pueden ser reestructurados a alta velocidad utilizando los OXC, generalmente en tiempos de conmutación de decenas de milisegundos. Estos OXC pueden reconfigurar la capacidad de transporte lógica a petición, por ejemplo para el tráfico en días cargados, rediseñar semanalmente la capacidad de enlace o efectuar el restablecimiento urgente de la capacidad cuando se producen fallos de nodos o de transporte. La reestructuración de la capacidad de enlaces lógicos comprende la retribución de la anchura de banda de transporte y las terminaciones de nodo a diferentes enlaces. La tecnología OXC es acomodable a la gestión centralizada del tráfico.

Recientemente se han efectuado trabajos para ampliar las capacidades de control MPLS al establecimiento de enlaces lógicos de capa 2 a través de los OXC, lo que ha doblado la conmutación lambda multiprotocolos, después de la conmutación de longitudes de onda en la tecnología de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*) [ARDC99].

Recomendación UIT-T E.360.5

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

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 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.

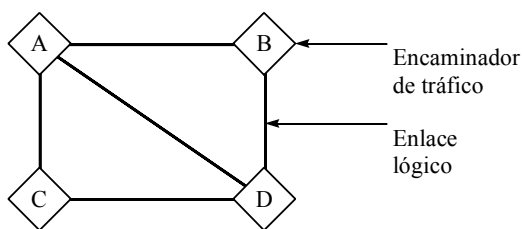
Los métodos tratados en las Recomendaciones de la serie E.360.x incluyen el encaminamiento de la llamada y de la conexión, la gestión de recursos orientada a la calidad de servicio, la gestión de las tablas de encaminamiento, el encaminamiento de transporte dinámico, la gestión de capacidad y los requisitos operacionales. Algunos de los métodos propuestos en 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 control de 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 del funcionamiento y el ajuste de la red a corto plazo.

Visión de la red de transporte lógica (capa 2)



Visión de la red de transporte física (capa 1)

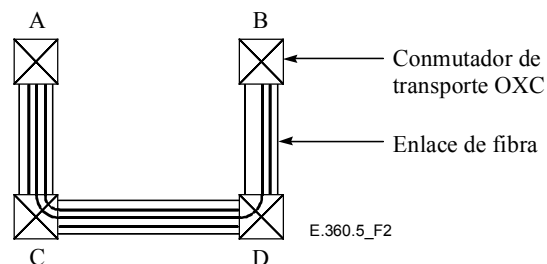


Figura 2/E.360.5 – Redes de transporte lógica (capa 2) y física (capa 1)

La figura 2 indica que se obtiene un enlace lógico directo por transconexión a través de una ubicación de conmutación de transporte. De este modo, la red de tráfico es una red lógica superpuesta sobre una red física de baja densidad. Un dispositivo de transconexión atraviesa cada nodo lógico en un determinado trayecto de enlace lógico por los enlaces de transporte físicos de capa 1, como se ilustra en la figura 2. Esto es particularmente ventajoso cuando este dispositivo es barato.

De las figuras 1 y 2 se desprende que en una red de tráfico o red de transporte lógica, con muchas interconexiones, muchos pares de nodos pueden tener una conexión de enlace lógico "directo" mientras no existe ninguno en la red de transporte física. En este caso, el enlace lógico directo se obtiene mediante la transconexión a través de una ubicación de conmutación de transporte, como un OXC. Esto es distinto de la situación de encaminamiento de tráfico, en la cual una conexión portadora es conmutada realmente en una ubicación intermedia. Esta distinción entre transconexión y conmutación es un poco sutil, pero es fundamental para el encaminamiento de tráfico de llamadas y el encaminamiento de transporte de enlaces lógicos. Con referencia a la figura 2, cabe ilustrar una de las incoherencias lógicas encontradas cuando la red de tráfico es diseñada para estar esencialmente separada de la red de transporte. En el trayecto de tráfico alternativo del nodo B al nodo D a través de A, el trayecto físico está, de hecho, hacia arriba y hacia atrás de B a A (un fenómeno conocido como "retroceso" y después a través de B a D. La compartición de capacidad por diversas cargas de tráfico de esta manera aumenta realmente la eficacia de la red porque la capacidad retrocedida a y desde B y A se usa solamente cuando el tráfico directo de A-a-B o de A-a-D desea utilizarla. Es cierto que en determinadas condiciones, la capacidad podría ser aprovechada de manera más eficaz, que es lo que se estudia en la presente Recomendación.

Una conexión de enlace lógico se obtiene mediante transconexión a través de dispositivos de conmutación de transporte, tales como OXC, lo que es distinto del encaminamiento flujo por flujo, que conmuta una llamada por los enlaces lógicos en cada nodo del trayecto de llamada. De esta manera, la red de transporte lógica está superpuesta sobre una red de transporte física de baja densidad. En la Rec. UIT-T E.360.2 se examina una amplia variedad de métodos dinámicos de encaminamiento de tráfico. Estos métodos incorporan la selección dinámica de trayectos que busca y utiliza la capacidad de red en reposo efectuando decisiones frecuentes, quizás llamada por llamada, de actualización de las tablas de encaminamiento de tráfico y de transporte. La tendencia en la arquitectura de encaminamiento de tráfico y de transporte es lograr una mayor flexibilidad de la asignación de recursos, lo que incluye la asignación de recursos de transporte y de conmutación. Una arquitectura fija de encaminamiento de transporte puede tener encaminamiento de tráfico dinámico pero encaminamiento de transporte fijo de la capacidad de enlaces lógicos. En cambio, en una arquitectura dinámica de encaminamiento de transporte, las capacidades de enlaces lógicos pueden ser reestructuradas rápidamente, es decir, no son fijas.

Con el encaminamiento transporte dinámico, la anchura de banda de transporte es cambiada rápidamente en la capa 2 entre pares de nodos y servicios utilizando dispositivos de transconexión dinámica. En este caso, la anchura de banda del enlace de fibra físico de capa 1 es atribuida entre

los enlaces lógicos de capa 2. La atribución de anchura de banda en la capa 3 crea también el equivalente de enlaces directos, y estos enlaces se denominan haces de circuitos de tráfico, que a su vez comprenden redes virtuales (VNET, *virtual networks*) descritas en la Rec. UIT-T E.360.3. Los haces de circuitos de tráfico pueden ser implementados, por ejemplo, utilizando trayectos conmutados por etiquetas (LSP, *label switched paths*) MPLS. La anchura de banda se atribuye a haces de circuitos de tráfico de acuerdo con las demandas de tráfico y normalmente no se atribuye anchura de banda a todos los enlaces lógicos; de este modo, hay un fondo o depósito de anchura de banda no atribuida. Cuando hay sobrecarga de tráfico para un determinado par de nodos, el nodo primero establece comunicaciones por los haces de circuitos de tráfico que conecta el nodo par. Si esto no es posible, el nodo establece comunicaciones después por el fondo disponible de anchura de banda. Si hay anchura de banda disponible, ésta es atribuida a los haces de circuitos de tráfico y se utiliza para establecer la comunicación. Si no hay anchura de banda disponible, la anchura de banda de enlace lógico de capa 2 pudiera ser aumentada dinámicamente por el corredor de anchura de banda, atribuida a los haces de circuitos de tráfico y por último a la llamada. De manera similar, cuando la anchura de banda es subutilizada en haces de circuitos de tráfico, la anchura de banda en exceso es liberada al fondo de anchura de banda disponible y puesta a disposición para su atribución a otros pares de nodos. Si la anchura de banda de enlace lógico está muy subutilizada, pudiera ser devuelta al fondo de anchura de banda de enlaces de fibra de capa 1. El corredor de anchura de banda reasigna los recursos de red dinámicamente, mediante el análisis de los datos de tráfico recopilados provenientes de los nodos.

En la arquitectura dinámica de transporte, los enlaces lógicos entre los distintos nodos pueden ser reestructurados rápidamente, cada hora del día, o quizás en tiempo real. La capacidad de encaminamiento de transporte dinámico permite reestructurar las capacidades de enlaces lógicos a petición. Parece más conveniente utilizar esta capacidad en una reestructuración de capacidad relativamente lenta, por ejemplo, para el tráfico de la hora cargada, el tráfico del fin de semana, el tráfico de días punta, el rediseño semanal de las capacidades de enlaces lógicos, o para el restablecimiento urgente de capacidad en caso de fallo de nodos o de transporte. En distintos momentos, las demandas de nodos y de capacidad de transporte por los diversos pares de nodos y servicios que residen en las mismas fibras ópticas diferirán. En esta red, si una determinada demanda de capacidad de enlaces lógicos entre un determinado par de nodos disminuye y otra aumenta, se puede reasignar la capacidad de enlace lógico al segundo par de nodos. La posibilidad de reestructurar dinámica y automáticamente la capacidad de enlaces lógicos redundante en economías de costos. Grandes segmentos de anchura de banda pueden ser proporcionados por rutas de fibra, y la capacidad de transporte puede ser asignada a voluntad con el mecanismo de reestructuración. Esta posibilidad de gestión de capacidad simplificada se examina más detalladamente en la Rec. UIT-T E.360.6.

La figura 3 ilustra el concepto de encaminamiento de tráfico (capa 3) y de transporte (capa 2) dinámicos desde el punto de vista generalizado de nodos de conmutación.

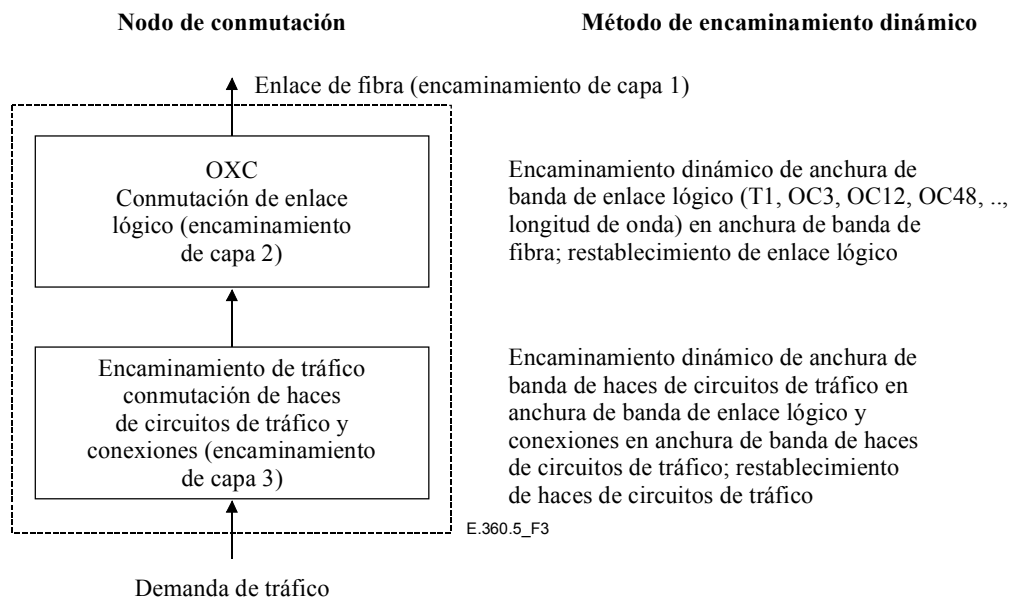


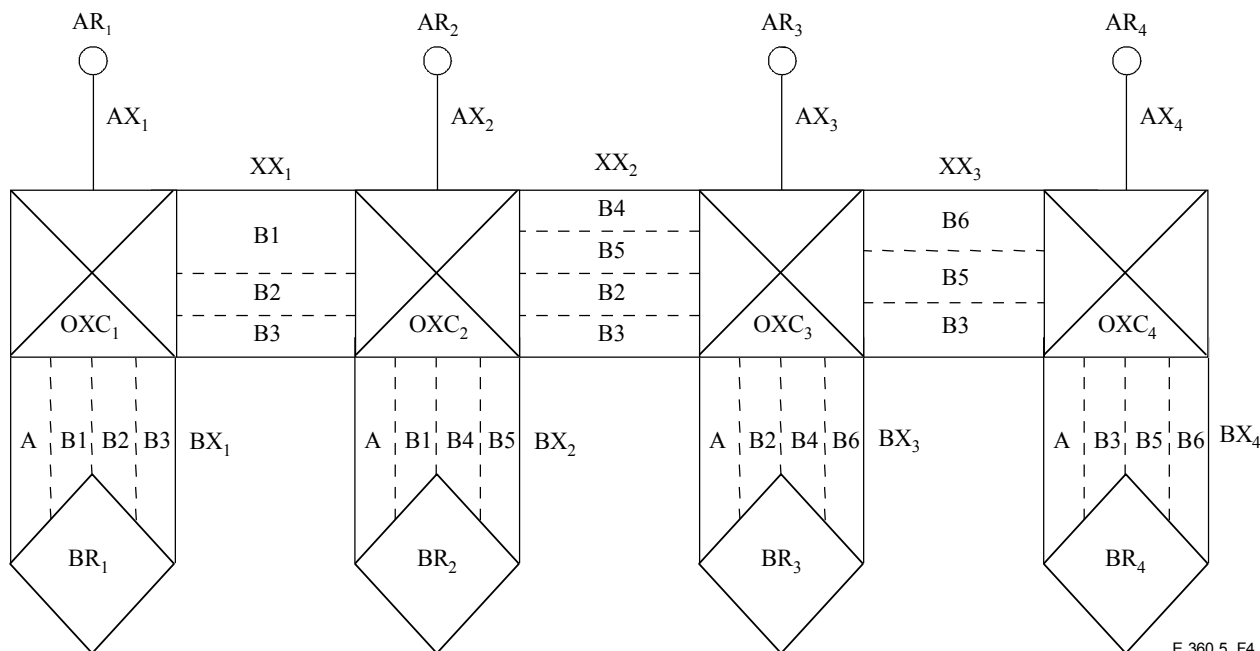
Figura 3/E.360.5 – Encaminamiento de transporte dinámico (capa 2) y encaminamiento dinámico de conexiones (capa 3)

La figura 3 ilustra la relación de los métodos de encaminamiento dinámico a nivel de llamada y a nivel de transporte utilizados en la red de encaminamiento de transporte dinámico. El encaminamiento dinámico de conexiones, examinado en la Rec. UIT-T E.360.2, se utiliza para encaminar llamadas que comprenden la demanda de tráfico subyacente. Se asigna capacidad de haces de circuitos de tráfico para cada VNET en la capacidad de enlace de transporte. Para cada llamada, el nodo de origen analiza el número llamado y determina el nodo de terminación, clase de servicio y red virtual. El nodo de origen trata de establecer la comunicación por haces de circuitos de tráfico al nodo de terminación y, si no está disponible, se utiliza el encaminamiento dinámico para reestructurar la capacidad de haces de circuitos de tráfico requeridos para satisfacer las demandas de tráfico y lograr diversidad entre nodos, diversidad de acceso y restablecimiento de haces de circuitos de tráfico tras los fallos de nodos, OXC o transporte en fibra. Las capacidades de haces de circuitos de tráfico son asignadas por el encaminador de tráfico a la anchura de banda de enlace lógico, y ésta es atribuida por el corredor de anchura de banda a la anchura de banda de enlace en fibra, de modo de utilizar la anchura de banda eficazmente de acuerdo con el nivel de demanda de tráfico entre los nodos.

En el nivel de demanda de tráfico en la jerarquía de transmisión, las peticiones de flujo son conmutadas utilizando el encaminamiento de tráfico dinámico en la red de enlaces lógicos por la lógica de encaminamiento del nodo. En el OC3 y niveles de petición más altos en la jerarquía de transmisión, las demandas de enlaces lógicos son conmutadas utilizando sistemas OXC, que permiten encaminar dinámicamente las demandas de transporte de acuerdo con los niveles de tráfico. Para mejorar el funcionamiento de la red, el encaminamiento de transporte dinámico con OXC puede proporcionar enlaces lógicos en tiempo real y respuesta en tiempo real a la congestión de tráfico.

Como se ilustra en la figura 4, el concepto de red de encaminamiento de transporte dinámico incluye encaminadores de ruta principal (BR, *backbone routers*), encaminadores de acceso (AR, *access routers*) y OXC. Los encaminadores de acceso podrán encaminar tráfico de centrales locales, accesos en cascada, equipos de cliente y centros de conmutación internacional extranjeros. En este caso, un canal de transmisión de enlace lógico podría estar formado, por ejemplo, por atribución de anchura de banda al nivel OC3, OC12, OC48 u Ocx. Un OXC puede transconectar (o "conmutar") un canal de transmisión de enlace lógico dentro de un canal de longitud de onda de fibra de terminación en un sistema DWDM a un canal similar dentro de otro sistema DWDM en fibra. En el

ejemplo ilustrado, los encaminadores de acceso conectan con el OXC por medio de enlaces de transporte, como el enlace AX1, y los BR conectan con los OXC por medios de enlaces de transporte, como BX1. Varios enlaces de transporte de ruta principal en fibra/DWDM interconectan los elementos de red OXC como los enlaces XX1 y XX2. Los enlaces lógicos de ruta principal son terminados en cada extremo por los OXC y pueden ser encaminados por tramos en fibra/DWDM por la red de transporte física por los trayectos físicos más cortos. Los enlaces lógicos entre BR se forman transconectando los canales de anchura de banda a través de los OXC entre un par de BR.



E.360.5_F4

AR	Encaminamiento de acceso	B1	BLL BR ₁ - BR ₂
OXC	Transconector óptico	B2	BLL BR ₁ - BR ₃
BR	Encaminador de ruta principal	B3	BLL BR ₁ - BR ₄
A	Enlace lógico de acceso	B4	BLL BR ₂ - BR ₃
B	Enlace lógico de ruta principal (BLL)	B5	BLL BR ₂ - BR ₄
		B6	BLL BR ₃ - BR ₄

Figura 4/E.360.5 – Red de encaminamiento de transporte dinámico

Por ejemplo, el enlace lógico de ruta principal B2 de BR1 a BR3 se forma conectando entre BR1 y BR3 a través de los enlaces de fibra/DWDM BX1, XX1, XX2 y BX3 efectuando las transconexiones apropiadas a través de OXC1, OXC2 y OXC3. Los enlaces lógicos tienen capacidad de anchura de banda variable controlada por el corredor de anchura de banda que implementa la red de encaminamiento de transporte dinámico. Los enlaces lógicos de acceso se forman mediante transconexión entre los AR y los BR, por ejemplo, encaminador de acceso AR1 conectado en los enlaces de fibra/DWDM AX1 y BX1 a través de OXC1 a BR1 o, como otra posibilidad, el encaminador de acceso AR1 conectado en los enlaces en fibra/DWDM AX1, XX1 y BX2 transconectados a través de OXC1 y OXC2 a BR2. Para una mayor fiabilidad de la red, los encaminadores de ruta principal y de acceso pueden estar direccionados a dos OXC, posiblemente en edificios diferentes.

6 Ejemplos de encaminamiento de transporte dinámico

Hay posibilidades importantes de diseño de red con el encaminamiento de transporte dinámico, y en esta cláusula se dan ejemplos en diferentes periodos de tiempo. Estos ejemplos ilustran las mejoras del funcionamiento eficaz de la red que son posibles con la reestructuración del transporte estacional, semanal, diaria y en tiempo real.

En la figura 5 se ilustra el encaminamiento de transporte dinámico para demandas de tráfico con variación estacional. Cuando las demandas estacionales cambian, la red de transporte dinámico puede satisfacer mejor las demandas de encaminamiento de la capacidad de transporte, logrando así un transporte más eficaz. La figura 5 ilustra cómo con el encaminamiento de transporte dinámico se obtienen reducciones de capacidad de red y cómo la demanda de transporte es encaminada de acuerdo con las necesidades estacionales que varían. Cuando las demandas estacionales cambian, la red de transporte dinámico puede satisfacer mejor las demandas de encaminamiento de capacidad de transporte, logrando así un transporte más eficaz. La figura 5 muestra la variación de las demandas de capacidad en invierno y en verano. Con el encaminamiento de transporte fijo se proporciona capacidad de terminación y capacidad de transporte máximas durante las variaciones estacionales, porque en un entorno manual sin reestructuración dinámica del transporte no es posible desconectar y reconectar la capacidad en estos periodos de ciclos corto. Sin embargo, cuando la reestructuración del transporte está automatizada con el encaminamiento de transporte dinámico, el diseño de terminación y de transporte puede ser modificado semanalmente, diariamente o con conmutación de paquetes a alta velocidad, en tiempo real para concordar exactamente el diseño de terminación y de transporte con las demandas reales de la red. Obsérvese que en la red de transporte fijo hay capacidad de terminación y de transporte no utilizada que no puede ser empleada por cualesquiera demandas; algunas veces esto se denomina "capacidad entrampada" porque está disponible pero no puede ser accedida por las demandas reales. En cambio, la red de transporte dinámico sigue la demanda de capacidad con el encaminamiento de transporte flexible y junto con el diseño de red de transporte reduce la capacidad entrampada.

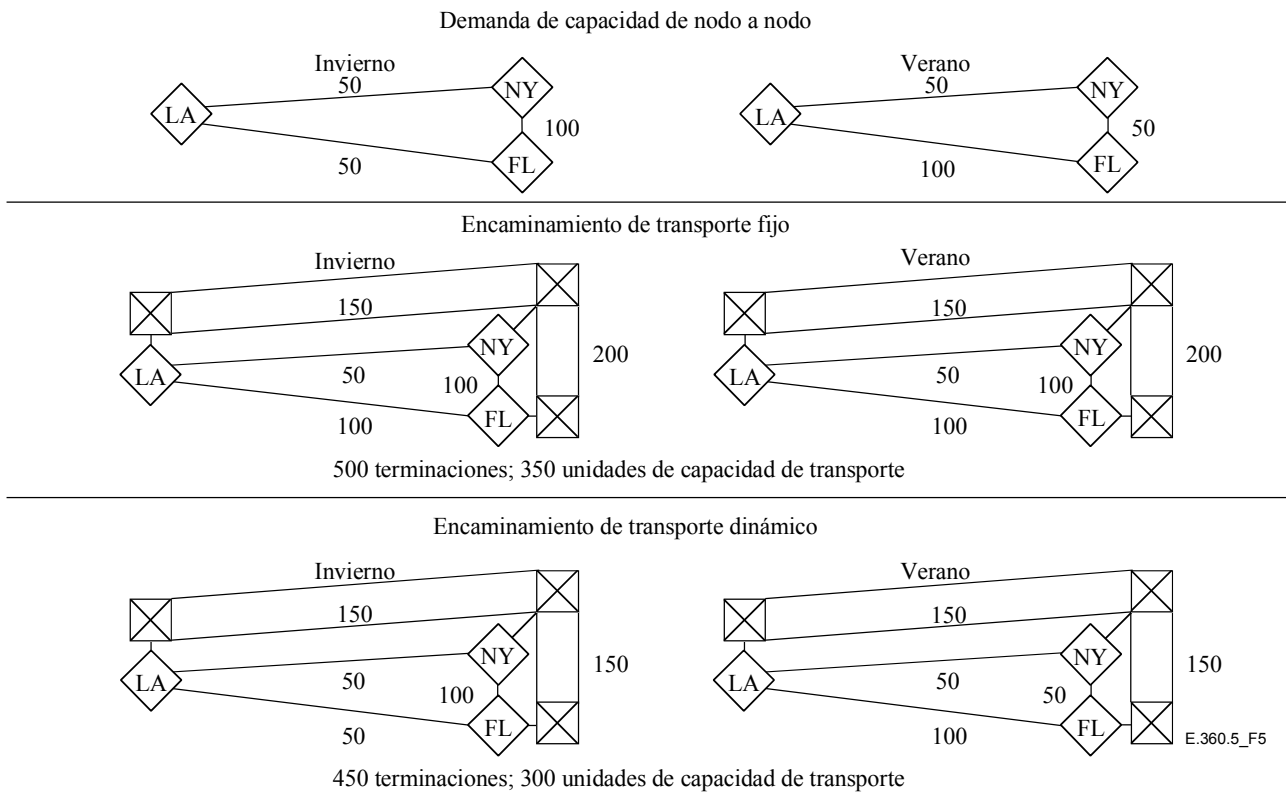


Figura 5/E.360.5 – Encaminamiento de transporte dinámico comparado con encaminamiento de transporte fijo

Por consiguiente, la variación de la demanda produce una compartición eficaz de la capacidad, que en el ejemplo de la figura 5 reduce las necesidades de capacidades de terminación en 50 terminaciones de nodo, o aproximadamente el 10% comparado con la red de transporte fijo y en 50 las necesidades de capacidad de transporte, o aproximadamente el 14%. Así pues, con el encaminamiento de transporte dinámico es posible utilizar más eficazmente la capacidad en comparación con el encaminamiento de transporte fijo, porque con el diseño de red de transporte dinámico el tamaño de los enlaces puede ser concordado con la carga de la red.

Con los modelos de diseño de encaminamiento de tráfico dinámico y de encaminamiento de transporte dinámico, la capacidad de reserva puede ser reducida en comparación con el encaminamiento de transporte fijo. La capacidad existente que rebasa la capacidad requerida para satisfacer exactamente las cargas de diseño con la calidad de funcionamiento objetiva se denomina capacidad de reserva. La capacidad de reserva se debe a que las incertidumbres de la carga, tales como los errores de previsión, tienden a causar acumulación de capacidad en exceso del diseño de red que concuerda exactamente con las cargas previstas. La renuencia a desconectar y reorganizar la capacidad de haces de circuito de tráfico y de transporte contribuye a esta acumulación de capacidad de reserva. Las gamas típicas de capacidad de reserva son de 15 a 25% o más del costo de la red. Los modelos muestran que el encaminamiento de tráfico dinámico comparado con el encaminamiento de tráfico fijo proporciona un potencial de reducción del 5% de la capacidad de reserva a la vez que mantiene un bajo nivel de diseño de capacidad a corto plazo [A98].

Con el diseño de red de transporte dinámico, el tamaño de los enlaces puede ser concordado con la carga de red. Con el encaminamiento de transporte dinámico, la política de desconexión de capacidad de enlace es, en efecto, aquella en la cual la capacidad de enlace está siempre desconectada cuando no se necesita para las cargas de tráfico vigentes. Los modelos indicados en [FHH79] predicen reducciones de capacidad de reserva del 10% o más con esta política, y los resultados presentados en el anexo A basados en diseño de transporte dinámico semanal corroboran esta conclusión.

El diseño y la reestructuración semanal de la capacidad de enlaces lógicos puede aproximar diseños de capacidad de reserva cero. Las figuras 6 y 7 ilustran el cambio de capacidad de transporte encaminada semanalmente entre los pares de nodos A-B, C-D y B-E, pues las demandas entre estos pares de nodos cambian semanalmente.

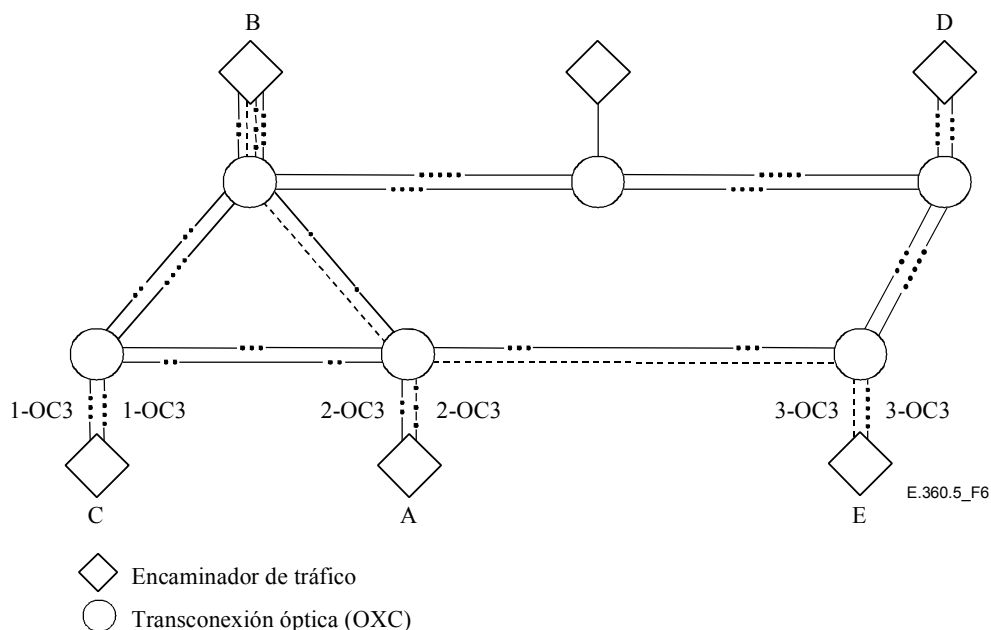


Figura 6/E.360.5 – Disposición semanal de red de encaminamiento de transporte dinámico (patrón de carga de la semana 1)

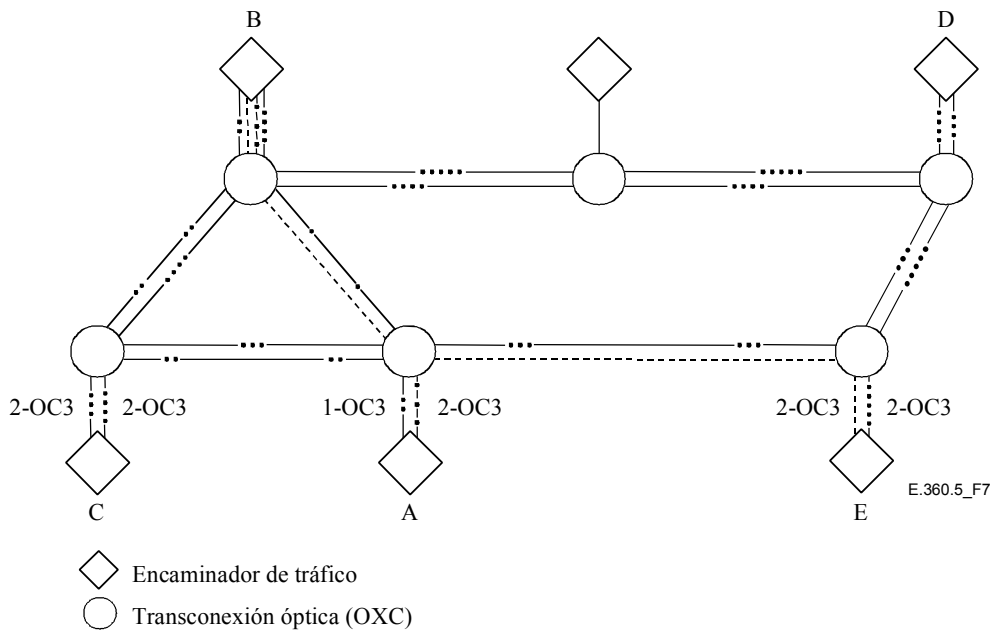
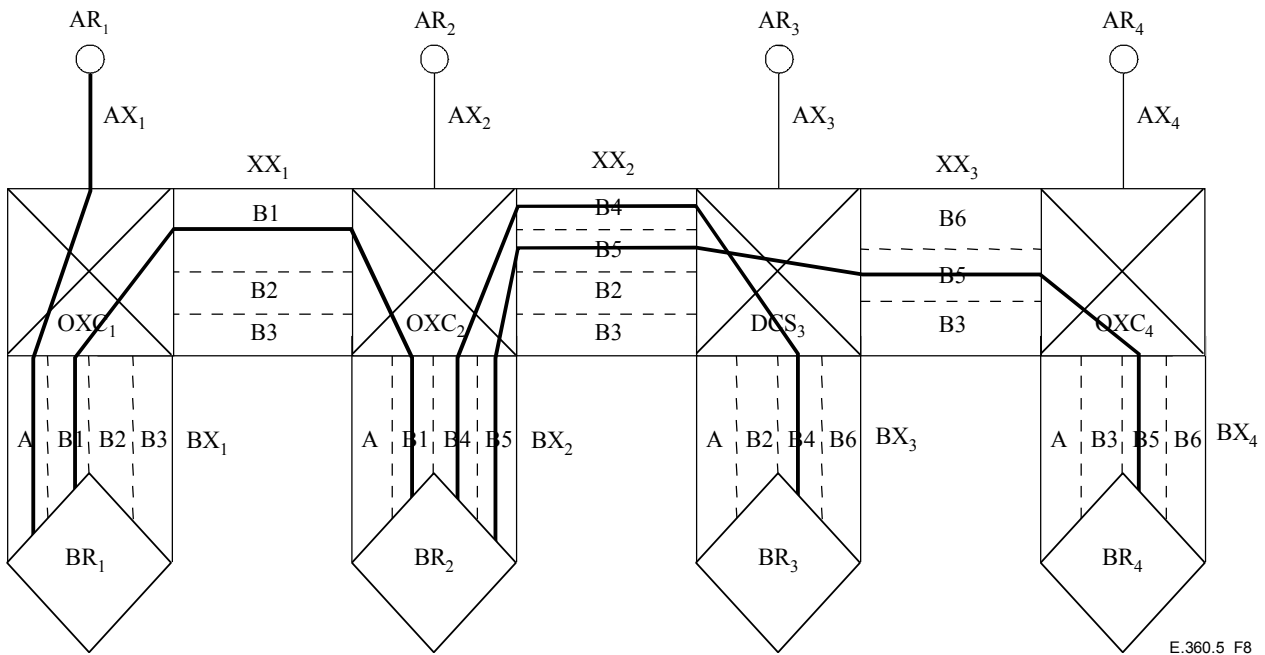


Figura 7/E.360.5 – Disposición semanal de red de encaminamiento de transporte dinámico (patrón de carga de la semana 2)

Estos cambios del encaminamiento y de la capacidad de transporte se efectúan automáticamente en la red de transporte dinámico, en la cual el encaminamiento de transporte diverso de los enlaces lógicos A-B y C-D es mantenido por la red de encaminamiento de transporte dinámico. La diversidad de enlaces lógicos aumenta la fiabilidad de la red.

El diseño y la reestructuración diarios de la capacidad de enlaces de transporte puede mejorar la calidad de funcionamiento por motivos similares, debido a la no coincidencia de las demandas de capacidad de transporte, que pueden cambiar diariamente. En las figuras 8 y 9 se da un ejemplo de no coincidencia de tráfico experimentada en días muy cargados, como el día de Navidad. La figura 8 ilustra el encaminamiento en un día laborable normal de las demandas de acceso y demandas entre BR. Sin embargo, el día de Navidad, hay muchos nodos ocupados y muchos nodos en reposo. Por ejemplo, el nodo BR2 puede estar relativamente en reposo el día de Navidad (por ejemplo, si fuese un nodo del centro comercial), mientras que el nodo BR1 puede estar muy ocupado. Por consiguiente, el día de Navidad, las demandas de BR2 a cualquier lugar de la red son reducidas y mediante el encaminamiento de transporte dinámico esta capacidad de transporte puede ser reducida automáticamente. De manera similar, las demandas de BR1 aumentan el día de Navidad. Las demandas de acceso, por ejemplo, las de AR1 pueden ser redireccionadas para liberar la capacidad de terminación en BR2, como se ilustra en la figura 9, que libera también capacidad de terminación en BR1 que ha de ser usada para aumentos de demanda entre BR. Mediante esta reestructuración de demandas de acceso y demandas entre BR, basada en cambios de tráfico no coincidentes, es posible completar más tráfico a y desde BR1 porque ha aumentado la capacidad de enlaces lógicos entre los BR, que utilizan ahora capacidad de transporte liberada por la reducción de la capacidad de transporte requerida por BR2. En un día punta, como el de Navidad, los nodos ocupados a menudo están limitados por la capacidad de enlaces lógicos entre los BR; esta reestructuración reduce o elimina los embotellamientos, como se ilustra en el ejemplo de diseño de red de transporte dinámico el día de Navidad mostrado en el anexo A.

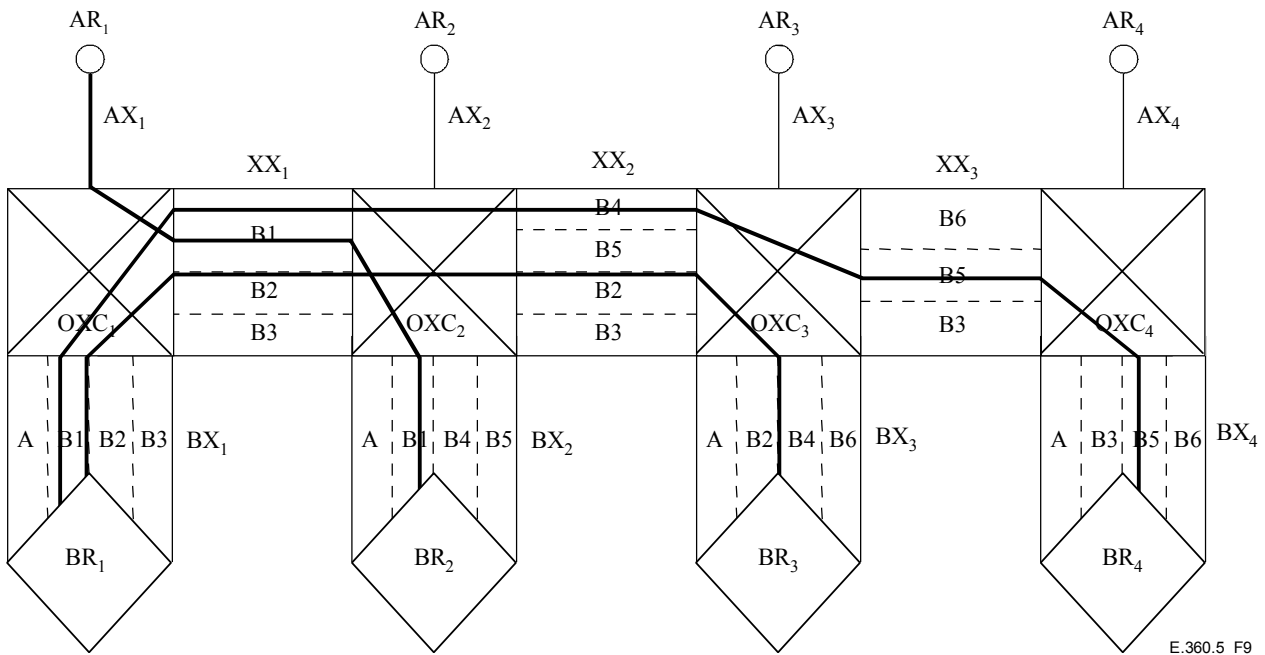
El equilibrio entre el acceso y la capacidad entre BR en toda la red puede aumentar la robustez ante aumentos imprevistos de la carga. Este diseño de equilibrio de carga se ilustra en el anexo A con un ejemplo basado en una sobrecarga centralizada causada por un huracán en el nordeste de Estados Unidos de América. En la red de transporte dinámico es posible efectuar adiciones de capacidad como reacción instantánea a eventos imprevistos, tales como terremotos.



AR	Encaminador de acceso	B1	BLL BR ₁ - BR ₂
OXC	Transconexión óptica	B2	BLL BR ₁ - BR ₃
DCS	Transconexión digital	B3	BLL BR ₁ - BR ₄
BR	Encaminador de ruta principal	B4	BLL BR ₂ - BR ₃
A	Enlace lógico de acceso	B5	BLL BR ₂ - BR ₄
B	Enlace lógico de ruta principal (BLL)	B6	BLL BR ₃ - BR ₄

Figura 8/E.360.6 – Diseño de encaminamiento de transporte dinámico en un día punta

El encaminamiento de transporte dinámico puede proporcionar el restablecimiento dinámico de capacidades que han fallado debido, por ejemplo, a cortes de la fibra, en la capacidad de transporte de reserva o de respaldo. El encaminamiento de transporte dinámico proporciona una capacidad de red de autorrecuperación para asegurar una selección de trayecto en toda la red y la inmediata adaptación al fallo.



AR	Encaminamiento de acceso	B1	BLL BR ₁ - BR ₂
OXC	Transconexión óptica	B2	BLL BR ₁ - BR ₃
BR	Encaminador de ruta principal	B3	BLL BR ₁ - BR ₄
A	Enlace lógico de acceso	B4	BLL BR ₂ - BR ₃
B	Enlace lógico de ruta principal (BLL)	B5	BLL BR ₂ - BR ₄
		B6	BLL BR ₃ - BR ₄

Figura 9/E.360.5 – Diseño de encaminamiento de transporte dinámico en un día punta

Por ejemplo, FASTAR [CED91], implementa el control automático central de dispositivos de conmutación de transporte para restablecer rápidamente el servicio después de un fallo de transporte. Como se muestra en la figura 10, un corte de la fibra puede interrumpir grandes capacidades de haces de circuitos de tráfico, y el restablecimiento de transporte dinámico puede restablecer rápidamente la capacidad de transporte. El encaminamiento de transporte dinámico proporciona una capacidad de red de autorrestablecimiento para asegurar una selección de trayecto en toda la red y la inmediata adaptación al fallo. Como se ilustra en la figura 10, un corte de fibra del nodo de Nashville afectó 8,576 Gbit/s de capacidad de enlaces de circuitos de tráfico de la red conmutada (había también tráfico de líneas privadas), y después del restablecimiento de transporte dinámico un total de 3,84 Gbit/s de capacidad de haces de circuitos de tráfico estaba aún fuera de servicio en la red conmutada. En el ejemplo, el restablecimiento de transporte dinámico es implementado por el control automático centralizado de dispositivos de transconexión de transporte para restablecer rápidamente el servicio después de un fallo de transporte, como el causado por el corte de un cable. Mientras duró este evento, más de 12 000 llamadas estuvieron bloqueadas en la red conmutada, casi todas las cuales se originaban o terminaban en el nodo de Nashville, y se ha de señalar que el bloqueo de la red retornó a cero después del restablecimiento de 4,736 Gbit/s de capacidad de haces de circuitos de tráfico en los primeros 11 minutos, aunque había aún 3,84 Gbit/s de capacidad fuera de servicio.

El encaminamiento de tráfico dinámico pudo hallar trayectos por los cuales completar el tráfico a pesar de la capacidad de enlaces lógicos era mucho menor que la normal incluso después del restablecimiento de transporte dinámico. Por consiguiente, el encaminamiento de tráfico dinámico en combinación con el restablecimiento de transporte dinámico proporcionan una capacidad de red de autorrestablecimiento, y aunque el cable fue reparado dos horas después del corte, la degradación del servicio fue mínima. En este ejemplo, el encaminamiento de tráfico dinámico proporcionó también encaminamiento con prioridad para clientes y servicios seleccionados, como se describe en

la Rec. UIT-T E.360.3, lo que permite encaminar las llamadas con prioridad con preferencia a otras llamadas, y el bloqueo de los servicios con prioridad es esencialmente cero durante todo el evento.

Mientras dura un evento, las llamadas son bloqueadas hasta que se restablece la capacidad suficiente para que la red vuelva al bloqueo cero. Es decir, el encaminamiento de transporte dinámico y el encaminamiento de tráfico dinámico son capaces de hallar trayectos disponibles por los cuales restablecer el tráfico que fallado. Por consiguiente, este ejemplo ilustra claramente cómo el encaminamiento de tráfico dinámico en tiempo real en combinación con el encaminamiento de transporte dinámico en tiempo real pueden proporcionar una capacidad de red de autorrestablecimiento e incluso si el cable es reparado dos horas después, la degradación del servicio es mínima. Este funcionamiento mejorado de la red proporciona ingresos adicionales porque las llamadas anteriormente bloqueadas son completadas, a la vez que se mejora la calidad de servicio al cliente.

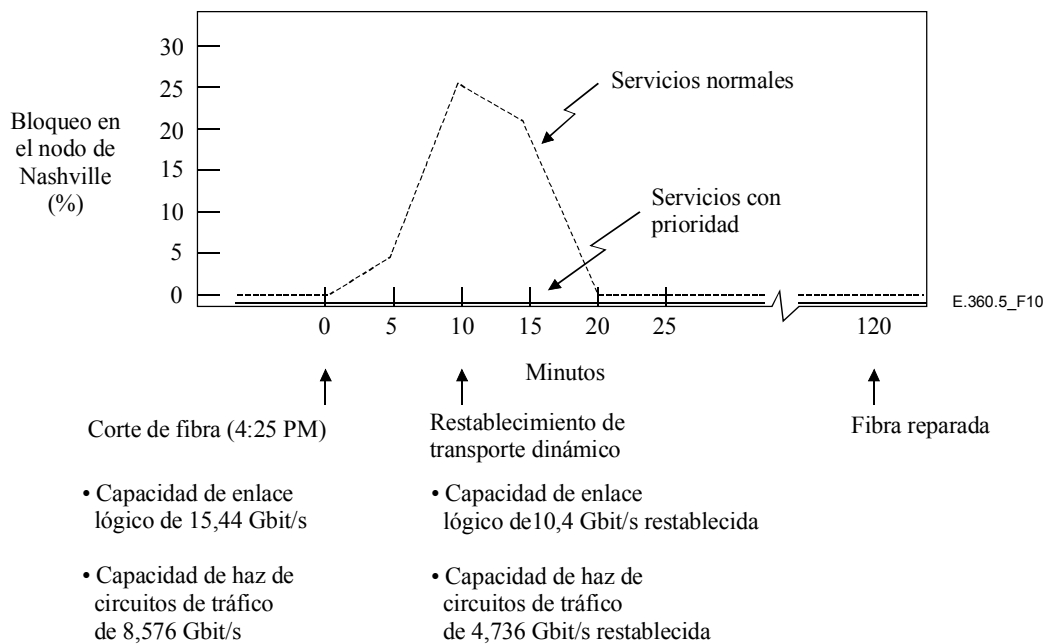


Figura 10/E.360.5 – Ejemplo de fallo por corte de fibra con encaminamiento de tráfico dinámico y encaminamiento de transporte dinámico

Estos ejemplos ilustran que la implementación del encaminamiento de transporte dinámico proporciona un mejor funcionamiento de la red con menor costo. Estos beneficios son similares a los logrados por el encaminamiento de tráfico dinámico y, como se muestra, la combinación de ambos encaminamientos proporciona un refuerzo sinérgico para obtener estas mejoras de red.

La implementación de una red de encaminamiento de transporte dinámico permite reducir significativamente los costos de capital y de gestión de red así como los gastos de diseño con métodos de diseño de capacidad de transporte que puede ser reestructurada. La provisión y reestructuración automatizadas de enlaces lógicos produce ahorros operativos anuales. Otras consecuencias de la gestión y diseño de red, que ocasionan una reducción adicional de los gastos operativos, son la simplificación de los sistemas de provisión de enlaces lógicos, la automatización de la prueba de enlaces lógicos antes del servicio y la simplificación de los sistemas de mantenimiento, la integración de la previsión, administración y atribución de anchura de banda de capacidad de enlaces lógicos en la planificación y entrega de capacidad, la simplificación de la planificación de nodos y de transporte y la automatización del seguimiento de inventario.

7 Diseño de red de transporte fiable

En el caso de fallo de enlaces, nodos u otros elementos de red, el diseño de red tiene que proporcionar capacidad suficiente de supervivencia para satisfacer los niveles de funcionamiento requeridos. Por ejemplo, si falla un enlace de fibra importante, esto podría tener un efecto catastrófico en la red porque el tráfico para muchos pares de nodos no podrá utilizar el enlace que ha fallado. De manera similar, si uno de los nodos falla, este fallo podría aislar una zona geográfica completa hasta que es restablecido el servicio.

Teniendo en cuentas estas dos clases de fallos importantes, a continuación se presentan modelos de encaminamiento de transporte fiables para lograr un diseño de red fiable, con el fin de proporcionar servicio para objetivos de restablecimiento predefinidos en caso de cualquier fallo de enlace o de nodo de transporte en la red y continuar el suministro de conexiones a los clientes sin que éstos perciban esencialmente la interrupción del servicio. Este método trata de integrar capacidades en las redes de tráfico y de transporte para hacerlas robustas o insensibles al fallo. Los objetivos básicos de estos modelos son aumentar la diversidad de enlaces y la capacidad de protección cuando sea necesaria, de modo que se cumplan objetivos específicos de "robustez de red", tales como objetivos de nivel de restablecimiento de tráfico, cuando se producen fallos. Esto significa que la red está diseñada de modo que transporte por lo menos la fracción de tráfico conocida como el nivel de restablecimiento de tráfico (TRL, *traffic restoration level*) cuando se producen fallos. Por ejemplo, un objetivo de TRL del 70% significa que en cualquier fallo de un enlace de transporte en la red de transporte, por lo menos el 70% del tráfico original para cualquier par de nodos afectados es transportado aún después del fallo; para los pares de nodos no afectados, el tráfico es transportado en el objetivo de grado de servicio de probabilidad de bloqueo normal. Estos modelos proporcionan diseños que tratan la respuesta de la red inmediatamente después de un evento de red. Es conveniente también responder al restablecimiento de transporte después de la ocurrencia del evento de red para volver al servicio normal. En la presente Recomendación se trata también el restablecimiento de transporte.

Los objetivos de funcionamiento de red fiable pueden requerir, por ejemplo, que la red transporte el 50% de su carga en la hora cargada por cada enlace dentro de los cinco minutos después de un fallo importante de red, con el fin de eliminar el aislamiento entre pares de nodos. Esta característica se puede proporcionar mediante técnicas de restablecimiento de tráfico, que incluyen diversidad de enlaces, capacidad de restablecimiento de tráfico y encaminamiento de tráfico dinámico. Los objetivos de funcionamiento de red fiables pudieran requerir también otra reducción del nivel de bloqueo de establecimiento de la conexión a menos del 5% dentro de unos 30 minutos para limitar la duración de servicio degradado. Esto es posible mediante métodos de restablecimiento de transporte que utilizan nodos de transporte junto con control de restablecimiento de transporte centralizado. Otro objetivo puede ser restablecer por lo menos el 50% de los haces de circuitos en los enlaces afectados dentro de este periodo de tiempo.

El proceso de restablecimiento de transporte restablece la capacidad para servicios conmutados, así como especializados ("línea privada") en caso de fallos de enlaces. En una implementación el restablecimiento de transporte se efectúa mediante un sistema centralizado que restablece la capacidad de transporte afectada hasta que se agota toda la capacidad de restablecimiento disponible. La optimización del costo total de la capacidad de restablecimiento de transporte es posible mediante un diseño que aumenta las oportunidades de compartición de la capacidad de restablecimiento entre diferentes escenarios de fallos. El restablecimiento de transporte en tiempo real puede requerir también el uso de capacidad de restablecimiento especializada para cada enlace y, por tanto, una menor posibilidad de compartir la capacidad de restablecimiento. A los efectos de este análisis, se supone que todo el transporte de red puede estar protegido con un nivel objetivo de capacidad de restablecimiento. El nivel de restablecimiento de transporte (TPRL, *transport restoration level*) es el término utilizado para especificar el porcentaje mínimo de capacidad en cada enlace de transporte que puede ser restablecido. En el modelo, el TPRL se implementa restableciendo cada enlace afectado en un fallo a un nivel especificado. En este caso, cabe distinguir

aún más entre nivel de restablecimiento de transporte para circuitos conmutados y circuitos especializados y designarlos TPRLs y TPRLp, respectivamente.

A continuación se describen modelos de diseño de encaminamiento de transporte lógico para proporcionar la supervivencia de las redes. Antes de describir los modelos, se implementa la distinción entre redes de tráfico y de transporte y el concepto de diversidad de enlaces.

Para distinguir entre redes de tráfico y de transporte, considérese el caso de una red de tres nodos de la figura 2. La red de transporte físico se muestra en la parte inferior de la figura y la correspondiente red de transporte lógico (tráfico) en la parte superior. Por ejemplo, el enlace lógico directo para conectar los nodos A y B puede pasar por el trayecto A-C-D-B en la red de transporte físico. No hay un enlace lógico entre los nodos B y C, lo que significa que no hay capacidad de haces de circuitos de tráfico directos del nodo B al nodo C. El fallo de un enlace de transporte físico puede afectar a más de un enlace lógico. Por ejemplo, en la figura 2 el fallo del enlace de transporte físico C-D afecta a los enlaces lógicos A-D, C-D y A-B. La diversidad de enlaces lógicos se relaciona con un diseño de enlaces lógico en el cual la capacidad directa para un enlace lógico se divide en dos o más trayectos de transporte físicos diferentes. Por ejemplo, en la figura 1 la capacidad de enlace lógico directo para el enlace A-D se puede dividir en los dos trayectos de transportes físicos A-B-C-D y un trayecto físicamente diverso A-E-F-D. Una política de diversidad de enlaces de, digamos 70/30, corresponde al hecho de que no más del 70% de la capacidad de enlaces lógicos directos (haces de circuitos de tráfico) es encaminado por un solo enlace de transporte físico para los diferentes trayectos de transporte para ese enlace lógico. La ventaja de la diversidad de enlaces lógicos es que si falla un enlace de transporte físico, el tráfico para un determinado par de nodos puede utilizar aún la capacidad de enlace lógico directo que ha sobrevivido en el trayecto de transporte físico que no está en el enlace que ha fallado.

A continuación se presentan modelos de diseño de encaminamiento de transporte en caso de fallos de enlace de transporte físico y de nodos.

7.1 Modelos de diseño de enlaces de transporte

Se supone que se dispone de dos trayectos de transporte distintos para la capacidad de enlaces lógicos directos para cada par de nodos. En el modelo de tráfico, la demanda es convertida a demanda de haces de circuitos virtuales, en base a la capacidad de transporte lógica directa y con desbordamiento, como se ilustra en la figura 1 de la Rec. UIT-T E.360.6. Sea v la necesidad de haces de circuitos virtuales para la demanda de tráfico para un determinado par de nodos. Sea d la capacidad de haces de circuitos virtuales que se han de poner en el trayecto de transporte físico primario y s la capacidad de haces de circuitos virtuales que se ha de poner en los trayectos de transporte físicos alternativos para el enlace lógico directo de ese par de nodos. Sea b el número de haces de circuitos para este enlace de tráfico que están designados por el modelo de diseño de red. Sea t el objetivo de nivel de restablecimiento de tráfico (TRL) en caso de fallo de enlace. Sea Δ_b el aumento de capacidad de enlaces que puede ser necesario para este enlace lógico.

Lo que se desearía en un evento de fallo es transportar una porción tv de la demanda total de haces de circuitos virtuales para los pares de nodos afectados. De este modo, si $tv \leq b/2$, se fija $\Delta_b = 0$ (sin aumento) con $d = b - tv$ y $s = tv$. De esta manera si falla uno de los trayectos de transporte, es posible transportar por lo menos tv de la demanda de haces de circuitos virtuales. Por otra parte, si $tv > b/2$, entonces se desea:

$$(b + \Delta_b)/2 = tv$$

lo que supone: $\Delta_b = 2tv - b$

En este caso, se fija $d = s = (b + \Delta_b)/2$. El procedimiento anterior se repite para cada par de demandas en la red. El incremento de costo de la red es el costo del aumento de haces de circuitos y del encaminamiento de la capacidad de enlaces lógicos directos para cada par de nodos, si la hubiere, en dos trayectos de transporte.

Es posible ampliar el procedimiento anterior al caso general de k distintos trayectos de transporte físicos. Así, para k distintos trayectos de transporte físico, si:

$$tv \leq \frac{k-1}{k}b$$

entonces $\Delta_b = 0$ con $d = b - tv$ en el primer trayecto de transporte físico, y $tv/(k-1)$ en cada uno de los otros $(k-1)$ trayectos de transporte. Si:

$$tv > \frac{k-1}{k}b$$

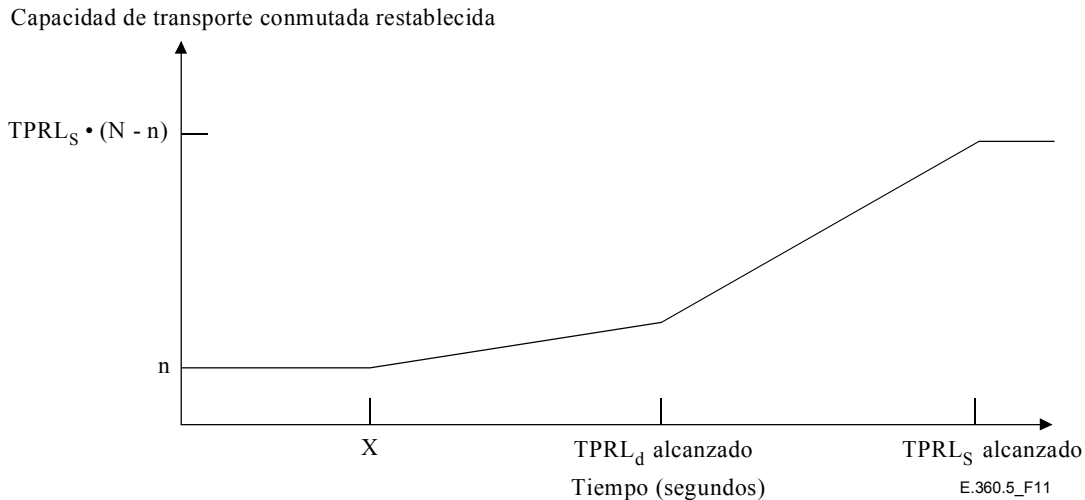
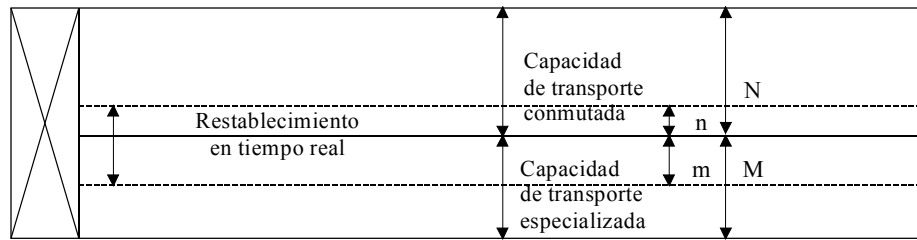
entonces:
$$\Delta_b = \frac{k}{k-1}tv - b$$

y cada uno de los k trayectos de transportes tienen $(b + \Delta_b)/k$ haces de circuitos.

En la figura 11 se ilustra un modelo de enlace de transporte, en el que se supone que cada sección transversal de transporte contiene, por término medio, determinadas fracciones de circuitos conmutados (N) y especializados (M). Se presume además que es posible restablecer en tiempo real una porción de los circuitos conmutados y especializados, como en el caso de disposiciones de transmisión en anillo o con doble alimentación (valores n y m).

Los circuitos que no son restablecidos en tiempo real lo son con el restablecimiento de transporte a un valor de nivel de restablecimiento de transporte (TPRL) especificado. La parte inferior de la figura 11 muestra la interacción entre la capacidad conmutada y especializada en el proceso de restablecimiento. Se supone que este proceso restablezca la primera unidad de capacidad de transporte (por ejemplo, OC3) después de x segundos, con y segundos para restablecer cada unidad adicional de capacidad de transporte. Los tiempos de restablecimiento son ilustrativos y no son críticos de los principios de diseño de red fiables examinados. El restablecimiento en anillo SONET puede ocurrir en unos 50-200 milisegundos, y este restablecimiento en tiempo real se incluye en el modelo. Se supone un método con prioridad, según el cual los enlaces de transporte que contienen servicios especializados con prioridad más alta son restablecidos primero. Como la capacidad conmutada y especializada a menudo está mezclada en el nivel de enlaces lógicos, alguna parte de la capacidad conmutada es restablecida también.

Es posible asignar también diferentes niveles de restablecimiento de transporte a las redes especializadas (TPRLp) y conmutadas (TPRLs). Cada demanda de tipo de circuito es restablecido al nivel correspondiente de restablecimiento. La figura 11 muestra también cómo el nivel de restablecimiento para los circuitos conmutados varía en función del tiempo. Una parte del nivel de circuitos de tráfico es restablecido en tiempo real (n). Después de x segundos, se reinicia el restablecimiento de transporte restableciendo una unidad de capacidad de transporte en cada y segundos y una fracción más pequeña de cada unidad de capacidad de transporte que es tráfico conmutado. La porción conmutada en cada unidad de capacidad de transporte aumenta subsiguientemente a una fracción mayor después que el tráfico especializado es restablecido a su TPRLp designado. El restablecimiento de transporte se detiene después que se cumplen los objetivos TPRLp y TPRLs.



- TPRL_S Nivel de restablecimiento de transporte para capacidad de transporte conmutada
- TPRL_d Nivel de restablecimiento de transporte para capacidad de transporte especializada

Figura 11/E.360.5 – Modelo de restablecimiento de transporte

7.2 Modelos de diseño de nodos

El diseño de restablecimiento tras el fallo de nodos incorpora el concepto de disponer de doble direccionamiento, examinado en la Rec. UIT-T E.360.2, junto con el encaminamiento de múltiples ingresos/egresos. Con un solo direccionamiento, el tráfico de una determinada zona geográfica normalmente va al nodo más cercano para transportar el tráfico de ingreso y egreso. Por ejemplo, en la figura 12 el tráfico de la zona servida A1 entra en la red a través del nodo B y, de manera similar, el tráfico de la zona servida A2 entra en la red a través del nodo C. Ahora, si el nodo B falla, la zona A1 está aislada. Como protección contra este evento, las zonas A1 y A2 son direccionadas a más de un nodo, los nodos A y B en este caso (parte inferior de la figura 12). Éste es el concepto de doble direccionamiento, con el cual se trata de diseñar una red fiable cuando uno de los nodos puede fallar.

Para que cada nodo esté protegido, se asigna un nodo con doble direccionamiento. Antes del fallo, se supone que cualquier carga de un nodo al nodo protegido y su nodo con doble direccionamiento esté igualmente dividida, es decir, si la carga original entre la zona A1 y el nodo A es a_1 , y entre A y el nodo con doble direccionamiento, B, es a_2 , se supone que en condiciones de red normales, la carga entre los nodos A y B es $(a_1 + a_2)/2$, y lo mismo para la carga entre los nodos A y C. Este concepto se denomina carga equilibrada. En caso de fallo, por ejemplo, un fallo del nodo B, la carga igual a $(a_1 + a_2)/2$ es transportada entre los nodos A y C (véase la parte inferior de la figura 12). Esto se denomina objetivo de diseño, un objetivo de nivel de restablecimiento de tráfico de 50% de una manera similar al evento de fallo de enlaces. Como se observa en la parte inferior de la figura 12, es transportado aún este nivel de restablecimiento de tráfico de o a la zona A1.

En el modelo de restablecimiento se determinan los pares de nodos que van a ser considerados para los escenarios de diseño de fallo de nodo. Después se determinan los nodos de doble direccionamiento para cada nodo y el tráfico de carga equilibrada encaminado en consecuencia. Después se calculan los haces de circuitos virtuales v_k para las cargas equilibradas. Para cada par de nodos, se supone que uno de los nodos falla (digamos, el nodo B). Este nodo no puede tener ningún tráfico entrante o saliente y tampoco puede ser un nodo intermedio para cualquier tráfico de dos enlaces entre otros pares de nodos. Aplicando estas restricciones, se establece un modelo de programación lineal que minimiza el aumento del costo. Después, se invierten los cometidos de los nodos para este par y se aplica el modelo de programación lineal de nuevo con las restricciones mencionadas anteriormente. Este proceso de diseño se repite para cada par de nodos candidatos para cada escenario de fallo de nodo.

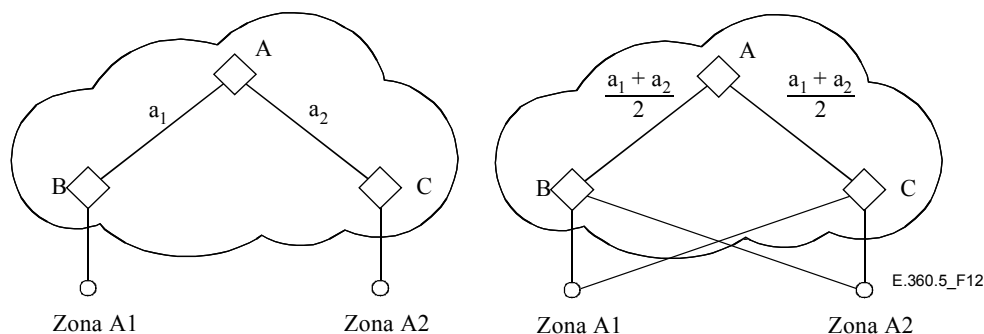


Figura 12/E.360.5 – Ilustración de doble direccionamiento

8 Conclusiones/recomendaciones

En esta Recomendación se presentan y analizan las arquitecturas de red de transporte dinámico. El encaminamiento de transporte dinámico es un método de encaminamiento y de atribución de anchura de banda, que combina el encaminamiento de tráfico dinámico con el encaminamiento de transporte dinámico y para el cual se proporcionan métodos de diseño de red asociados. Se considera que las redes funcionan más eficazmente a medida que se aumenta la posibilidad de reatribuir la anchura de banda de transporte, y es posible simplificar la gestión y el diseño de la red. Se presentan resultados de varios análisis, diseños y estudios de simulación relacionados con las arquitecturas de red de transporte dinámico.

Se utilizan modelos para medir la calidad de funcionamiento de la red para el diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico en comparación con el diseño de red de transporte fijo, en varias condiciones de red, que incluyen patrones de carga de carga diaria normal, patrones de carga de tráfico impredecible, como las causadas por un huracán, patrones de sobrecarga de tráfico conocida, como sucede el día de Navidad, y condiciones de fallo de red, cuando se produce un gran corte de fibra.

Se presentan las siguientes conclusiones/recomendaciones:

- Se recomienda el encaminamiento de transporte dinámico que proporciona mayor caudal de red y, en consecuencia, mayores ingresos, a la vez que economías de capital, como se examina en la Rec. UIT-T E.360.6.
 - a) El diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico mejora el funcionamiento de la red en condiciones de fallo, debido al encaminador automático entre rutas principales y a la diversidad de enlaces lógicos en combinación con el encaminamiento de tráfico dinámico y el restablecimiento de transporte de enlaces lógicos.

- b) Se recomienda el diseño de red con encaminamiento de transporte dinámico que mejora el funcionamiento de la red en comparación con el encaminamiento de transporte fijo en todas las condiciones de red simuladas, que incluyen patrones de carga de tráfico anómala e impredecible.
- Se recomienda el diseño de nivel de restablecimiento de tráfico y transporte que utiliza la diversidad de enlaces para asegurar un nivel mínimo de funcionamiento en condiciones de fallo.
- Se recomiendan técnicas de encaminamiento robustas, que incluyen encaminamiento dinámico del tráfico, encaminamiento por múltiples ingresos/egresos y encaminamiento por diversidad de enlaces lógicos, pues estos métodos responden mejor a los fallos de nodos o de transporte.

Anexo A

Modelado de métodos de ingeniería de tráfico

En este anexo se muestran los resultados del modelado para el diseño de la capacidad de encaminamiento de transporte dinámico, funcionamiento en condiciones de fallo de red y en diversos casos de sobrecarga de red.

A.1 Diseño de capacidad de encaminamiento de transporte dinámico

Diseño para cargas de tráfico con variación de tráfico semanal. El diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico permite utilizar más eficazmente la capacidad de nodos y la capacidad de transporte y puede reducir la capacidad de haces de circuitos de reserva de la red en un 10%, a la vez que mejora el funcionamiento de la red. El cuadro A.1 ilustra una previsión comparativa de las necesidades de capacidad de enlaces lógicos normalizados de una red interurbana nacional para el caso básico sin encaminamiento de transporte dinámico y los requisitos de la red con el diseño de red con encaminamiento de transporte dinámico. Cuando se toman en cuenta las variaciones de tráfico semanales, que reflejan variaciones estacionales, como en este análisis, el diseño de encaminamiento de transporte dinámico puede reducir la capacidad de reserva de la red. Como se muestra en el cuadro, las economías de haces de circuitos de tráfico siempre rebasan el 10%, lo que se traduce en una reducción importante de los gastos de capital.

Cuadro A.1/E.360.5 – Economías de capacidad con encaminamiento de transporte dinámico con variaciones de tráfico estacionales semanales (capacidad normalizada)

Periodo de predicción	Diseño de encaminamiento de transporte fijo	Diseño de encaminamiento de transporte dinámico	Economías de capacidad (%)
Año 1	1,000	0,873	12,7
Año 2	1,048	0,919	12,3
Año 3	1,087	0,968	11,0
Año 4	1,138	1,019	10,4

Con el diseño de red de encaminamiento de transporte para la capacidad de transporte se obtienen proporciones más altas de relleno de enlace de fibra, lo que reduce los costos de transporte. La red con encaminamiento de transporte dinámico aplica la diversidad de enlaces lógicos automatizada entre BR y acceso, el restablecimiento de enlaces lógicos y el restablecimiento de respaldos de nodos para mejorar la supervivencia de la red en una amplia gama de condiciones de fallo. A continuación se ilustra el funcionamiento de la red de encaminamiento de transporte dinámico con

el diseño para cargas de tráfico normales, eventos de fallo de transporte de fibra, patrones de carga de tráfico impredecibles y patrones de carga de tráfico de días punta.

A.2 Funcionamiento en caso de fallos de red

Se han efectuado simulaciones para comparar el funcionamiento de redes de transporte fijo y de transporte dinámico en el caso de un corte de fibra en Newark, New Jersey, en el cual aproximadamente se perdió 8,96 Gbit/s de capacidad de haces de circuitos de tráfico. Los resultados se muestran en el cuadro A.2. En este caso se utiliza un umbral de 50% o más de bloqueo de pares de nodos para identificar los pares de nodos que están aislados esencialmente. En consecuencia, el diseño de red de transporte que puede ser reestructurada elimina todos los aislamientos durante este evento de fallo de red.

Cuadro A.2/E.360.6 – Funcionamiento de la red en caso de corte de fibra, en Newark, NJ

	Tráfico perdido/retardado (%)	Número de pares de nodos con tráfico perdido/retardado > 50%
Encaminamiento de transporte fijo	14,4	963
Encaminamiento de transporte dinámico	4,2	0

Se ha hecho también un análisis del funcionamiento de la red después del restablecimiento de transporte, en el cual los diseños de red de transporte fijo y dinámico son simulados después del restablecimiento del 29% de los haces de circuitos perdidos. Los resultados se muestran en el cuadro A.3. También en este caso, el diseño de red de transporte dinámico elimina todos los aislamientos de la red, algunos de los cuales persisten aún en la red básica después del restablecimiento de los haces de circuitos de tráfico.

Cuadro A.3/E.360.5 – Funcionamiento de la red en caso de corte de fibra, en Newark, NJ (después del restablecimiento de los enlaces lógicos)

	Tráfico perdido/retardado (%)	Número de pares de nodos con tráfico perdido/retardado > 50%
Encaminamiento de transporte fijo	7,0	106
Encaminamiento de transporte dinámico	0,6	0

De acuerdo con este análisis, cabe concluir que la combinación de diseño de encaminamiento de transporte dinámico, de diversidad de enlaces lógicos y restablecimiento de transporte proporciona ventajas de supervivencia de la red. El diseño de red de transporte dinámico automatiza y mantiene la diversidad de enlaces lógicos, así como la diversidad de red de acceso de una manera eficaz y proporciona restablecimiento automático de transporte tras el fallo.

Se muestra un ejemplo de fiabilidad de red para demandas de transporte con doble direccionamiento en diversos nodos de transporte OXC. En un ejemplo se analiza un fallo de OXC en el nodo Littleton, MA, ilustrado en el modelo de la figura 1, y los resultados se muestran en el cuadro A.4. Como las demandas de transporte son encaminadas diversamente entre nodos y tienen doble direccionamiento entre nodos de acceso y dispositivos OXC, esto proporciona una mayor robustez y flexibilidad de la red a los fallos de nodos de tráfico y de nodos de transporte. Cuando la red ha sido diseñada para obtener el equilibrio de la carga entre demandas de acceso y entre nodos, y se efectúa el restablecimiento de haces de circuitos de tráfico, se mejora considerablemente el funcionamiento de la red de encaminamiento de transporte dinámico.

Cuadro A.4/E.360.5 – Funcionamiento de la red de transporte dinámico en condición de fallo de OXC

	Tráfico perdido/retardado (%)	Número de pares de nodos con tráfico perdido/retardado > 50%
Encaminamiento de transporte fijo	4,1	231
Encaminamiento de transporte dinámico, doble direccionamiento	1,3	0
Encaminamiento de transporte dinámico, doble direccionamiento, equilibrio de carga, restablecimiento de enlaces lógicos	0,6	0

La figura A.1 ilustra un caso típico de diseño de red con objetivos de TRL o TPRL, comparado con la red básica sin dichos objetivos de diseño. En el ejemplo, se produce un fallo de enlace en fibra en la red modelo, f segundos después del comienzo de la simulación, afectando a una gran parte de la capacidad de transporte de la red y cortando miles de conexiones existentes. Por consiguiente, en los resultados de la simulación mostrados en la figura A.1, se observa un gran salto en el bloqueo en el instante del corte. Se produce una ráfaga de reintentos porque los clientes cuyas comunicaciones han sido cortadas marcan de nuevo y restablecen sus llamadas. Este proceso de restablecimiento de llamada es ayudado por el diseño de TRL, que proporciona diversidad de enlaces y capacidad de transporte protectora para satisfacer los objetivos de TRL inmediatamente después de un fallo. Este diseño de TRL, junto con la capacidad de encaminamiento de tráfico dinámico para encontrar capacidad de supervivencia cuando ésta existe, reduce rápidamente el bloqueo transitorio, que permanece generalmente constante durante x segundos aproximadamente hasta que comienza el proceso de restablecimiento de transporte. En x segundos después del fallo del enlace, comienza el proceso de restablecimiento de transporte para restablecer la capacidad perdida debida al fallo. El bloqueo continúa disminuyendo durante ese periodo cuando se aplica el restablecimiento de transporte hasta que llega esencialmente a un nivel de bloqueo nulo. La figura A.1 ilustra la comparación entre los funcionamientos de redes con y sin las técnicas de diseño de restablecimiento de tráfico y de transporte presentadas en la presente Recomendación.

Este diseño de TRL prevé niveles de diversidad variables en diferentes enlaces para asegurar un nivel de funcionamiento mínimo. Con técnicas de encaminamiento robustas, tales como encaminamiento de tráfico dinámico, encaminamiento de múltiples ingresos/egresos, y encaminamiento con diversidad de enlaces lógicos, es posible mejorar aún más la respuesta a los fallos de nodos o de transporte. El restablecimiento de transporte es necesario para reducir el bloqueo de red a niveles bajos. Por ejemplo, con un diseño de nivel de restablecimiento de tráfico del 50% se observa que esto combinado con un restablecimiento de transporte del 50% de la capacidad de transporte en enlaces afectados es suficiente para restablecer el tráfico a niveles de bloqueo bajos. Por consiguiente, se considera que la combinación de diseños con TRL y TPRL es rentable y proporciona un funcionamiento rápido y fiable. El diseño de TRL elimina el aislamiento entre pares de nodos y el TPRL se utiliza para reducir la duración de servicio degradado en la red. Las técnicas de restablecimiento de tráfico combinadas con técnicas de restablecimiento de transporte proporcionan a la red medios independientes de lograr la fiabilidad contra múltiples fallos y otros eventos imprevistos y constituyen una parte valiosa de un diseño de red fiable.

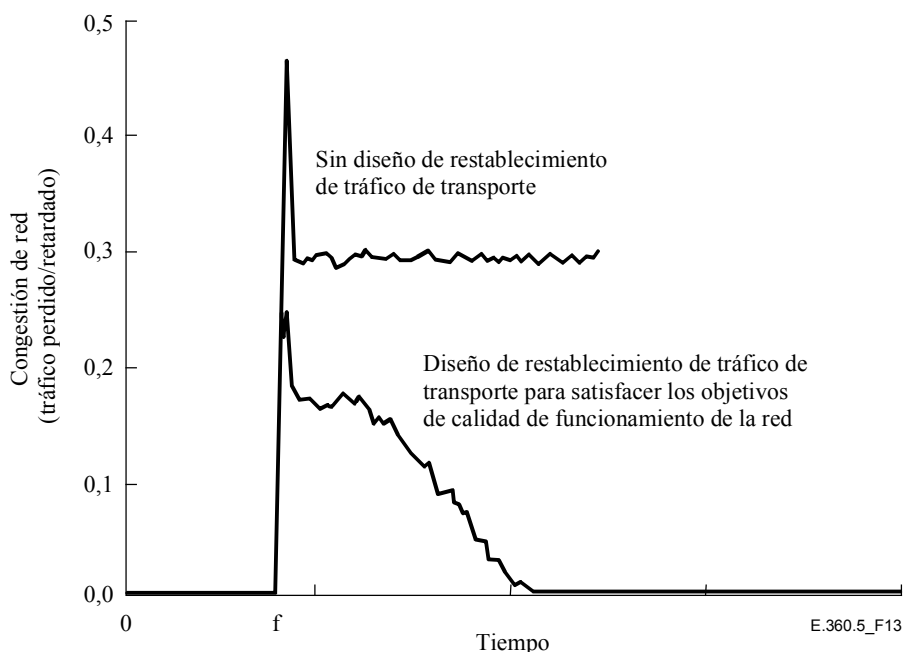


Figura A.1/E.360.5 – Funcionamiento de la red en condición de fallo de enlace con diseño de restablecimiento de tráfico y de transporte

A.3 Funcionamiento en caso de sobrecargas de tráfico generales

El modelo de red nacional está diseñado para el encaminamiento de transporte dinámico con cargas de tráfico calculadas utilizando el modelo de optimización de flujos de eventos discretos (DEFO, *discrete event flow optimization*) descrito en la Rec. UIT-T E.360.6 y resulta en un 15% de economía de la capacidad de haces de circuitos de reserva con respecto al modelo de encaminamiento de transporte fijo. Además de esta considerable economía de la capacidad de red, cuando la red funciona con un 10% de sobrecarga, la comparación de la calidad funcionamiento se ilustra en el cuadro A.5. En consecuencia, con diseños de red de encaminamiento de transporte dinámico se obtienen importantes economías de capital y una calidad de funcionamiento de red superior.

Cuadro A.5/E.360.5 – Calidad de funcionamiento de la red con una sobrecarga de tráfico del 10%

	Tráfico perdido/retardado (%)	Tráfico máximo perdido/retardado de pares de nodos (%)
Encaminamiento de transporte fijo	0,11	17,3
Encaminamiento de transporte dinámico	0	0

A.4 Funcionamiento con sobrecargas imprevistas

El diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico proporciona equilibrio de la carga de tráfico de nodos y capacidad de enlaces lógicos de modo que se proporciona suficiente capacidad de reserva en toda la red para satisfacer demandas imprevistas. La ventaja de este diseño se ilustra en el cuadro A.6, que compara el bloqueo de red simulado para diseños de red de encaminamiento de transporte fijo y de encaminamiento de transporte dinámico durante una sobre carga de tráfico centralizada causada por un huracán en el nordeste de Estados Unidos de América. Estas sobrecargas centralizadas imprevistas no son usuales en una red conmutada, y de acuerdo con estos

resultados es evidente la robustez adicional proporcionada por el diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico en casos de sobrecargas de tráfico imprevistas.

Cuadro A.6/E.360.5 – Funcionamiento de la red en caso de sobrecarga de tráfico imprevista (sobrecarga centralizada en el nordeste de Estados Unidos de América causada por un huracán)

	Tráfico perdido/retardado (%)	Tráfico máximo perdido/retardado de pares de nodos (%)
Encaminamiento de transporte fijo	0,43	22,7
Encaminamiento de transporte dinámico	0,28	13,3

Otras ventajas del equilibrio de la carga se ilustran en la figura A.2, en la cual una sobrecarga de tráfico de 25% está centralizada en un nodo en Jackson, Mississippi.

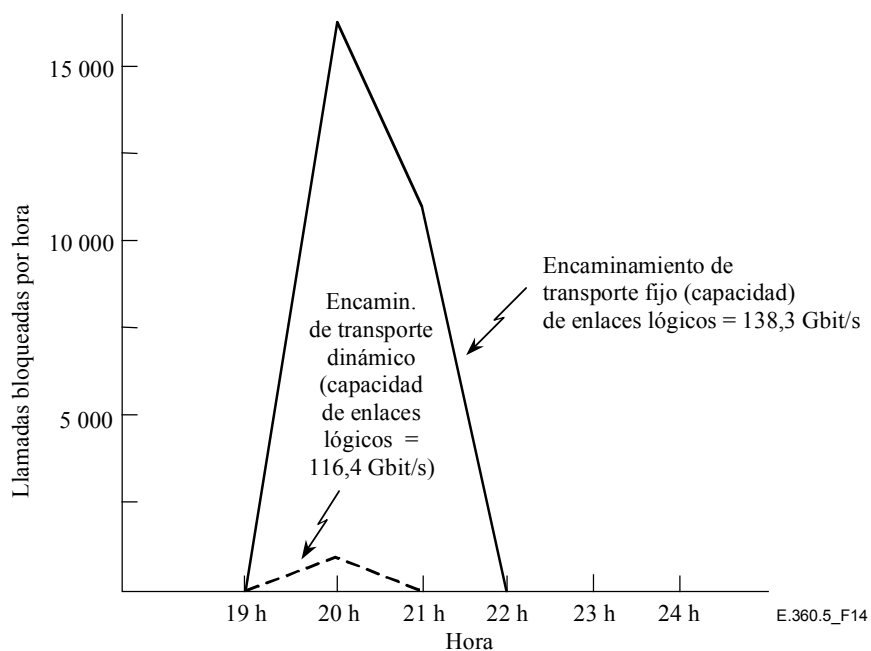


Figura A.2/E.360.5 – Funcionamiento con encaminamiento de transporte dinámico para un 25% de sobrecarga en el nodo Jackson, Mississippi

Como la red de transporte dinámico equilibra la carga entre demandas de acceso y demandas entre BR, esto aumenta la robustez y flexibilidad de la red a sobrecargas de tráfico inesperadas, aunque la capacidad de la red de encaminamiento de transporte dinámico en este modelo es menor en más del 15% que la capacidad de la red de encaminamiento de transporte fijo. En este ejemplo, en la red de transporte dinámico se permite la reestructuración activada por el bloqueo. Es decir, tan pronto como se detecta el bloqueo de un par de nodos, se añade capacidad de enlaces lógicos a los enlaces afectados transconectando capacidad de terminación de nodos de reserva y capacidad de enlaces lógicos de reserva, que han sido liberadas como resultado del diseño más eficaz de la red de transporte dinámico. Como se observa en la figura A.2, esto mejora considerablemente la respuesta de la red a la sobrecarga.

A.5 Funcionamiento para cargas de tráfico en días punta

Se ha preparado un diseño de red de transporte dinámico para las cargas de tráfico de Navidad, así como simulaciones para el diseño de red básica y de red de transporte que puede ser reestructurada para el tráfico del día de Navidad. Los resultados para el bloqueo entre BR se resumen en el cuadro A.7. Evidentemente, el diseño de red de transporte que puede ser reestructurada elimina el bloqueo de red entre BR, aunque puede persistir aún el bloqueo de nodos de acceso a BR, pero no está cuantificado en el modelo. Además de aumentar los ingresos, se mejora también la percepción del cliente de la calidad de red durante estas situaciones de días punta.

Cuadro A.7/E.360.5 – Funcionamiento de la red en caso de sobrecarga de tráfico el día de Navidad

Hora del día	Tráfico perdido/retardado de red de transporte fijo (%)	Tráfico perdido/retardado de red de transporte dinámico (%)
9 a 10 am	17,2	0
10 a 11 am	22,2	0
11 a 12 am	29,7	0

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