



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.360.6

(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 gestión de capacidad**

Recomendación UIT-T E.360.6

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.360.6

Encaminamiento orientado a la calidad de servicio y métodos de ingeniería de tráfico conexos – Métodos de gestión de capacidad

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, *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 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, *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.

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.360.6, 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 Modelos de diseño de capacidad de enlace	2
6 Modelos de selección de trayecto más corto	3
7 Modelos de diseño basado en la carga de varias horas.....	4
7.1 Modelos de optimización de flujos de eventos discretos (DEFO)	5
7.2 Modelos de optimización de flujos de carga de tráfico (TLFO)	9
7.3 Modelos de optimización de flujo de haces de circuitos virtuales (VTFO)...	10
8 Modelos de diseño de variación de la carga día por día	11
9 Modelos de diseño de incertidumbre de previsión/capacidad de reserva.....	12
10 Modelos de diseño de redes en malla, de baja densidad y de transporte dinámico.....	14
11 Conclusiones/recomendaciones	15
Anexo A – Modelado de métodos de ingeniería de tráfico.....	16
A.1 Diseño de red por red virtual comparado con diseño de red por flujo	16
A.2 Diseños de red de voz/RDSI y datos integrados y separados.....	18
A.3 Diseño de red multienlaces comparado con diseño de red de dos enlaces.....	23
A.4 Diseño de red simple de una zona comparado con diseño de red jerárquica de dos niveles	23
A.5 Diseño de red EDR comparado con diseño de red SDR	26
A.6 Diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico comparado con diseño de red de encaminamiento de transporte fijo	27

Introducción

En la presente Recomendación se examinan los principios de gestión de capacidad, como sigue:

Modelos de diseño de capacidad de enlaces. Estos modelos hallan el compromiso óptimo entre el tráfico transportado por un trayecto de red más corto (quizás un enlace directo) y el tráfico transportado por trayectos de red alternativos.

Modelo de selección de trayecto más corto. Estos modelos permiten determinar los trayectos más cortos para proporcionar un plan de encaminamiento más eficaz y flexible.

Modelos de diseño de red para varias horas. Se describen tres modelos que incluyen:

- i) modelos de optimización de flujo de eventos discretos (DEFO);
- ii) modelos de optimización de flujo de carga de tráfico (TLFO); y
- iii) modelos de optimización de flujo de haces de circuitos virtuales (VTFO).

Modelos de diseño de variación de la carga día por día. Estos modelos describen técnicas para tratar las variaciones de la carga día por día en el diseño de capacidad.

Modelos de diseño de incertidumbre de previsión/capacidad de reserva. Estos modelos describen los medios para tener en cuenta los errores de proyección de cargas de tráfico en el diseño de capacidad de la red.

Véanse las Recomendaciones UIT-T E.520 a E.529 y E.731 sobre el dimensionamiento de redes TDM; E.735 y E.737 sobre el dimensionamiento de redes ATM; E.733 sobre el dimensionamiento de redes de señalización SS7 y E.734 sobre el dimensionamiento de recursos de red inteligente.

Recomendación UIT-T E.360.6

Encaminamiento orientado a la calidad de servicio y métodos de ingeniería de tráfico conexos – Métodos de gestión de capacidad

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) 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.

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 dinámico de transporte;
- 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.

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 Modelos de diseño de capacidad de enlace

Como se ilustra en la figura 1, el diseño de capacidad de enlace requiere un compromiso entre la carga de tráfico transportada por el enlace y el tráfico que se debe encaminar por trayectos alternativos.

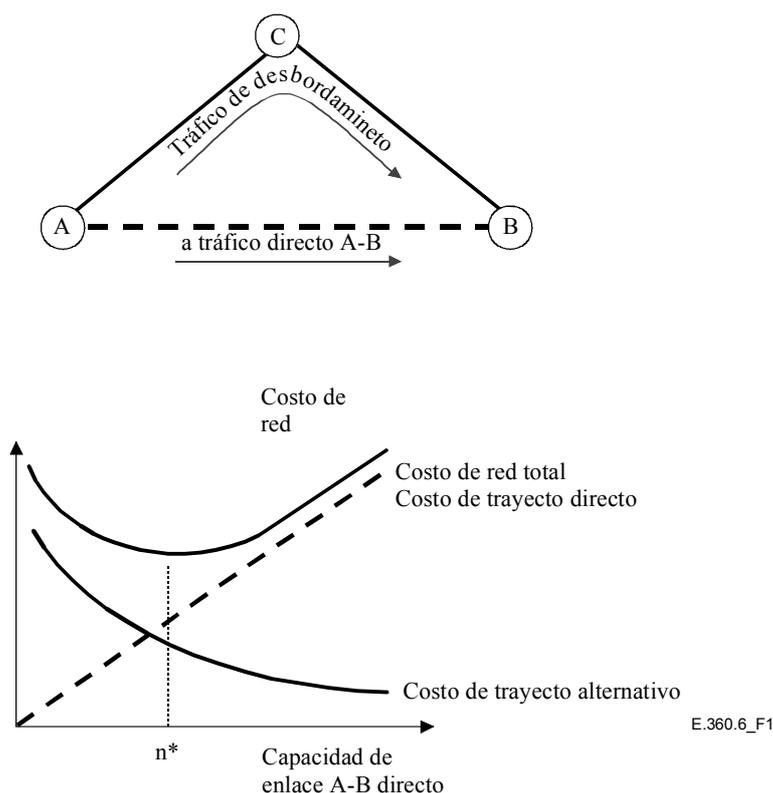


Figura 1/E.306.6 – Compromiso entre la capacidad de enlaces directos y la capacidad de trayectos alternativos

La alta ocupación de los enlaces resulta en una utilización más eficaz de la capacidad, aunque la alta ocupación origina congestión de enlaces y la consiguiente necesidad de que una parte del tráfico no sea encaminada por el enlace directo sino por trayectos alternativos. Los trayectos alternativos pueden ser más largos y menos eficaces. Se puede establecer un equilibrio adecuado entre el diseño de la capacidad de enlaces y la utilización de trayectos alternativos. Por ejemplo, considérese la

figura 1, que ilustra una red donde el tráfico es ofrecido por el enlace A-B que conecta los nodos A y B.

Parte del tráfico puede ser transportado por el enlace A-B, pero cuando se rebasa la capacidad de este enlace, parte del tráfico será transportado por trayectos alternativos o se perderá. El objetivo es determinar la capacidad del enlace directo A-B y el flujo de trayecto de encaminamiento alternativo, de modo que todo el tráfico sea transportado con el costo mínimo. Se utiliza un procedimiento de optimización simple para determinar la mejor proporción de tráfico que se ha de enviar por el enlace A-B directo y el volumen de tráfico que se ha de enviar por ruta alternativa a otros trayectos en la red. A medida que se aumenta la capacidad de enlaces directos, aumenta el costo de dichos enlaces, mientras que el costo de trayectos alternativos disminuye a medida que se añade capacidad directa, porque al disminuir la carga de desbordamiento, disminuye el costo de transporte de dicha carga. Se obtiene una condición de costo óptima, o costo mínimo, cuando se aumenta la capacidad de enlace A-B directo hasta el punto en que el costo por unidad de incremento de capacidad de anchura de banda para transportar tráfico por el enlace directo es exactamente igual al costo por unidad de capacidad de anchura de banda para transportar tráfico por la red alternativa. Éste es un principio de diseño utilizado en muchos modelos, sea de redes de baja densidad o en malla, redes de encaminamiento jerárquico fijo o redes de encaminamiento no jerárquico dinámico.

6 Modelos de selección de trayecto más corto

Algunos métodos de encaminamiento, como el encaminamiento jerárquico, limitan las elecciones de trayecto y proporcionan un diseño ineficaz, que limita la flexibilidad y reduce la eficacia. Si se eligen trayectos basados en el costo y se mitigan las restricciones, como en el caso de una estructura de red jerárquica, se obtiene una red más eficaz. Es posible proporcionar beneficios adicionales en el diseño de red permitiendo un plan de encaminamiento más flexible que no esté restringido a rutas jerárquicas sino que permita la selección de los trayectos no jerárquicos más cortos. Por ejemplo, el método de Dijkstra [Dij59], se utiliza a menudo para la selección de trayecto más corto. La figura 2 ilustra la selección de los trayectos más cortos entre dos nodos de red, SNDG y BRHM.

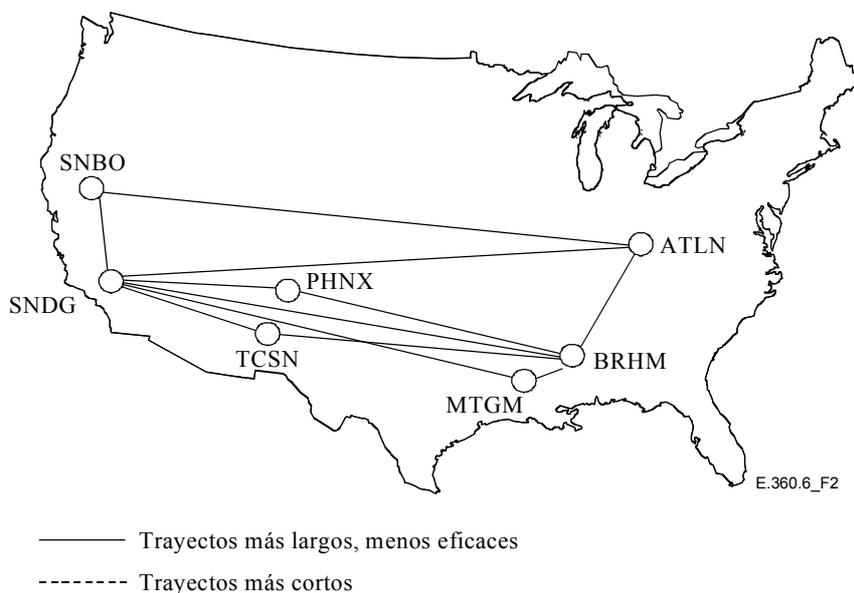


Figura 2/E.306.6 – Encaminamiento por trayecto más corto

Los trayectos más largos, tales como SNDG-SNBO-ATLN-BRHM, que pudieran darse a través de la selección de trayecto jerárquico, son menos eficaces que la selección de trayectos más cortos, tales como SNDG-PHNX-BRHM, SNDG-TCSN-BRHM o SNDG-MTGM-BRHM. Hay dos componentes de economía con la selección de trayecto más corto. Un componente resulta de la

eliminación del astillado de enlaces, que ocurre, por ejemplo, cuando más de un nodo tiene que satisfacer una carga de tráfico dentro de una zona dada, tal como una zona metropolitana. Con esto podrían resultar múltiples enlaces a un nodo distante, dividiendo así la carga entre enlaces que son menos eficaces que un solo enlace grande. Un segundo componente de la economía que se obtiene con la selección de trayecto más corto es el costo del trayecto. El encaminamiento por trayectos más directos o más cortos y menos costosos es a menudo más eficaz que el encaminamiento por trayectos jerárquicos más largos.

7 Modelos de diseño basado en la carga de varias horas

El diseño de encaminamiento dinámico mejora la utilización de la red con respecto al diseño de encaminamiento fijo porque éste no puede responder tan eficazmente a las variaciones de carga de tráfico que plantean el uso del teléfono de los sectores comercial/residencial, las zonas horarias, las variaciones estacionales, y otras causas. El diseño de encaminamiento dinámico aumenta la eficacia de utilización de la red variando las tablas de encaminamiento de acuerdo con los patrones de tráfico y diseñando capacidad en consecuencia. Una ilustración sencilla de este principio se muestra en la figura 3, donde hay una demanda de carga máxima por la tarde entre los nodos A y B y una demanda de carga máxima por la mañana entre los nodos A y C y los nodos C y B.

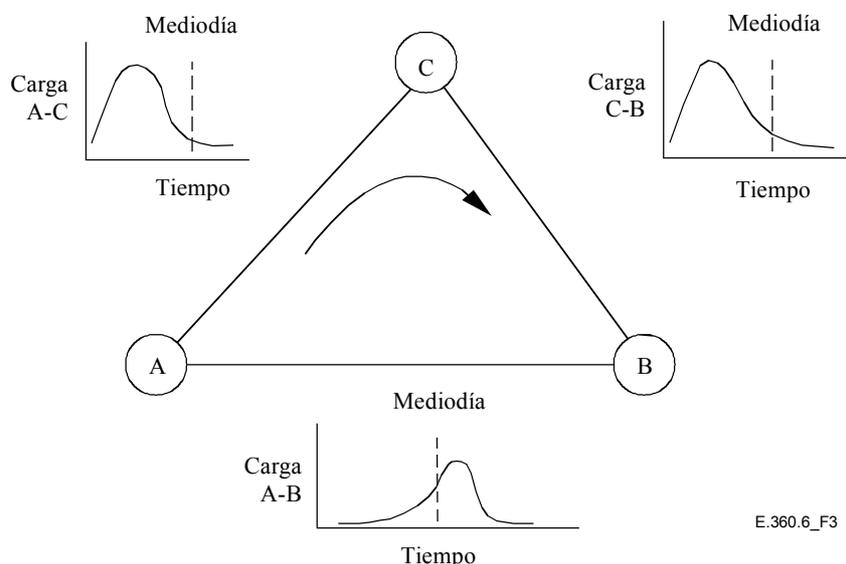


Figura 3/E.306.6 – Diseño de red basado en la carga de varias horas

En este caso, un diseño de ruta dinámico sencillo es proporcionar capacidad solamente entre los nodos A y C y los nodos C y B pero ninguna capacidad entre los nodos A y B. Así, las cargas máximas por la mañana de A-C y C-B son encaminadas directamente por esta capacidad por la mañana y la carga máxima por la tarde de A-B utiliza esta misma capacidad encaminando este tráfico por el trayecto A-C-B por la tarde. Un diseño de red de encaminamiento fijo proporciona capacidad para el periodo de cargas máxima de cada par de nodos proporcionando así capacidad entre los nodos A y B, y entre los nodos A y C y los nodos C y B.

El efecto del diseño de red basado en la carga de varias horas se ilustra con el modelo de diseño de red interurbana nacional de la figura 4, en la que se muestra que aproximadamente el 20% del costo de la red puede ser atribuido al diseño de cargas que varían en función del tiempo.

Como se ilustra en la figura 4, las redes basadas en la carga de 17 horas se diseñan utilizando la carga de cada hora y pasando por alto las cargas de las otras horas, para dimensionar una red que concuerde perfectamente con la carga de esa hora. Cada diseño de red para una hora representa el costo de capacidad de carga de tráfico por hora indicado en el cuadro 1/E.360.1. Las redes basadas

en la carga de 17 horas muestran que son visibles tres periodos cargados de red, a saber, los periodos cargados por la mañana, por la tarde y en las últimas horas de la tarde, y que la carga disminuye al mediodía y en las primeras horas de la noche porque el día laboral termina y las llamadas residenciales comienzan por la noche. La curva de la red por hora separa la capacidad proporcionada en el diseño de red para varias horas en dos componentes: por debajo de la curva se muestra la capacidad necesaria en cada hora para satisfacer la carga y por encima de la curva, la capacidad que está disponible pero que no es necesaria en esa hora. Esta capacidad adicional excede del 20% de la capacidad de red total durante todas las horas del día, lo que representa el costo de capacidad para varias horas indicado en el cuadro 1/E.360.1. Esta diferencia representa la capacidad de la red para satisfacer cargas no coincidentes.

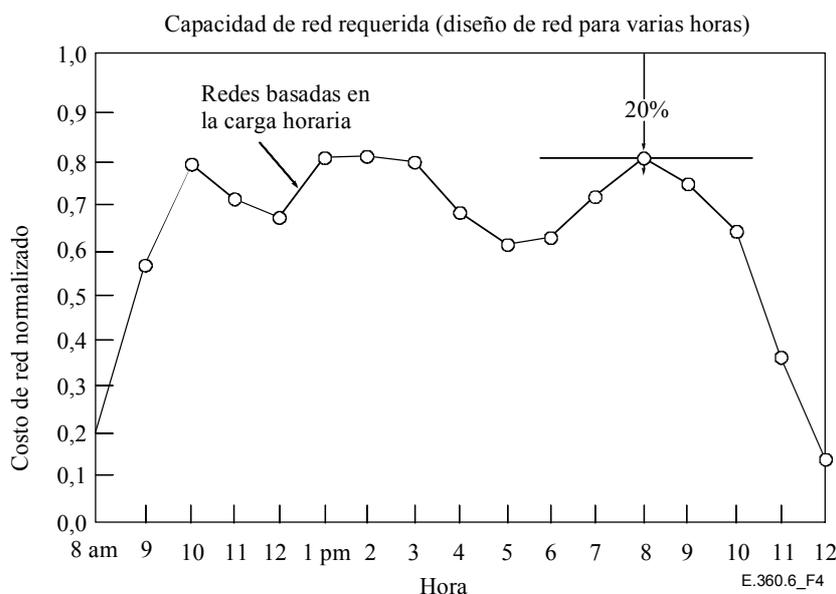


Figura 4/E.306.6 – Diseño de red por hora comparado con el diseño para varias horas

Se examinan ahora los tres tipos de modelos de diseño de red basado en la carga para varias horas: modelos de optimización de flujos de eventos discretos, modelos de optimización de flujos de haces de circuitos virtuales y modelos de optimización de flujos de tráfico, y se ilustra cómo se aplican a diversos diseños de redes fijos y dinámicos. Para cada modelo se examinan los pasos, que incluyen inicialización, diseño de encaminamiento, diseño de capacidad y actualización de parámetros.

7.1 Modelos de optimización de flujos de eventos discretos (DEFO)

Los modelos de optimización de flujos de eventos discretos (DEFO, *discrete event flow optimization*) se utilizan para el diseño de redes de tráfico fijo y dinámico. Estos modelos optimizan el encaminamiento de flujos de eventos discretos, medidos en unidades de peticiones de conexión individuales y las capacidades de enlaces asociadas. La figura 5 ilustra los pasos del modelo DEFO.

El generador de eventos convierte las demandas de tráfico en eventos de petición de conexión discretos. El modelo de eventos discretos proporciona la lógica de encaminamiento de acuerdo con el método de encaminamiento particular y encamina los eventos de petición de conexión de acuerdo con la lógica de la tabla de encaminamiento. Los modelos DEFO utilizan modelos de simulación para la selección de trayecto y la gestión de las tablas de encaminamiento para encaminar demandas de eventos discretos por las capacidades de enlace, que a su vez son optimizadas para satisfacer el flujo requerido. Se generan las necesidades de capacidad de enlaces iniciales basadas en la matriz de carga de tráfico introducida en el modelo. De acuerdo con la experiencia de diseño, se estima una capacidad de terminación de nodos inicial basada en una ocupación de diseño máximo en la hora cargada del nodo de 0,93 y la ocupación de red total (demanda de tráfico total/capacidad de

enlace total) en la hora cargada de la red se ajusta para que esté dentro de la gama de 0,84 a 0,89. La calidad de funcionamiento de la red se evalúa como una salida del modelo de eventos discretos y se determinan cualesquiera ajustes necesarios de la capacidad de enlace. Se asigna capacidad a cada enlace de acuerdo con el método de asignación de Kruithof [Kru37], que distribuye capacidad de enlace en proporción a la demanda total entre nodos.

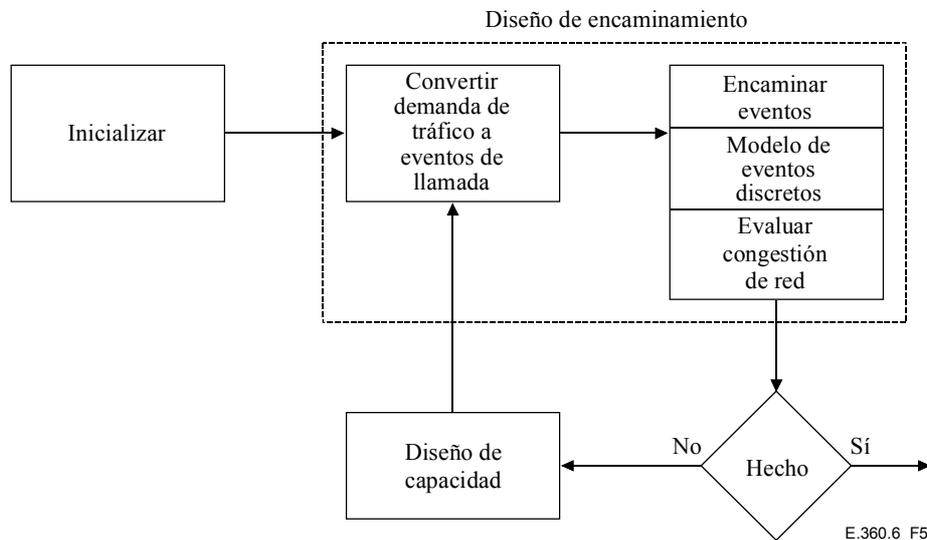


Figura 5/E.306.6 – Modelo de optimización de flujos de eventos discretos (DEFO)

La técnica de Kruithof se utiliza para estimar las necesidades de nodo a nodo, p_{ij} , desde el nodo de origen i al nodo de terminación j con la condición de que las necesidades totales de capacidad de enlaces de nodo puedan ser establecidas añadiendo las entradas en la matriz $P = [p_{ij}]$. Se supone que se conoce una matriz $Q = [q_{ij}]$, que representa las necesidades de capacidad de enlace de nodo a nodo para una iteración previa. Asimismo, las necesidades totales de capacidad de enlace b_i en cada nodo i y las necesidades totales de capacidad enlace d_j en cada nodo j se estiman como sigue:

$$b_i = \frac{a_i}{\gamma}$$

$$d_j = \frac{a_j}{\gamma}$$

donde a_i es el tráfico total en el nodo i , a_j , es el tráfico total en el nodo j y γ es la capacidad de transporte de tráfico promedio por haces de circuitos, u ocupación de diseño de nodo, como se indica anteriormente. El término p_{ij} se obtiene como sigue:

$$f_i = \frac{b_i}{\sum_j q_{ij}}$$

$$f_j = \frac{d_j}{\sum_i q_{ij}}$$

$$E_{ij} = \frac{f_i + f_j}{2}$$

$$p_{ij} = q_{ij} \times E_{ij}$$

Después que estas ecuaciones se resuelven iterativamente, se obtienen los valores de estado estable con convergencia de p_{ij} .

El modelo DEFO puede generar eventos de petición de conexión de acuerdo con una distribución de llegada de Poisson y tiempos de retención exponenciales, o con trenes de llegada más generales y distribuciones de tiempo de retención arbitrarias, porque estos modelos pueden ser aplicados fácilmente en el modelo de simulación de tablas de encaminamiento discretas. Los eventos de petición de conexión son generados de acuerdo con la matriz de carga de tráfico introducida en el modelo. Estos eventos son encaminados por el trayecto seleccionado de acuerdo con las reglas de las tablas de encaminamiento, modeladas por la simulación de tabla de encaminamiento, que determina el trayecto seleccionado para cada evento de llamada y envía el evento a la capacidad de red.

La salida del diseño de encaminamiento es la fracción de tráfico perdido y retardado en cada periodo de tiempo. De acuerdo con este funcionamiento del tráfico, el diseño de capacidad determina las nuevas necesidades de capacidad de enlaces de cada nodo y cada enlace para satisfacer el nivel de funcionamiento de diseño. De acuerdo con la estimación de tráfico perdido y retardado en cada nodo en cada periodo de tiempo, un cálculo de ocupación determina las necesidades adicionales de capacidad de enlaces de nodos para una estimación de la capacidad de enlaces actualizada. Esta capacidad de enlaces se determina de acuerdo con el volumen de tráfico bloqueado. Se estima Δa del tráfico bloqueado total en cada uno de los nodos, y un aumento estimado ΔT de la capacidad de enlace para cada nodo es calculado por la relación:

$$\Delta T = \frac{\Delta a}{\gamma}$$

donde γ es la capacidad de transporte de tráfico promedio por haces de circuito. De este modo, ΔT para cada nodo se distribuye a cada enlace de acuerdo con el método de estimación de Kruithof descrito anteriormente. Este método [Kru37] distribuye capacidad de enlace en proporción con la demanda total entre nodos y de acuerdo con el costo de enlace, de modo que se minimiza el costo total de la red. El dimensionamiento de cada enlace de esta manera asegura un nivel eficaz de utilización en cada enlace de la red para dividir óptimamente la carga entre la red de enlaces directos y de desbordamiento. Una vez redimensionados los enlaces, la red es reevaluada para ver si se satisfacen los objetivos de calidad de funcionamiento y, de no ser así, se efectúa otra iteración del modelo.

En el modelo se evalúa el intervalo de confianza del bloqueo/retardo diseñado. Para este análisis, se evalúa la distribución binomial para el intervalo de confianza del 90 percentil. Se supone que para una carga de tráfico de A en la cual las llamadas llegan durante el periodo de tiempo diseñado de comportamiento de tráfico estacionario hay como promedio m llamadas bloqueadas de n intentos. Esto significa que hay una probabilidad de bloqueo/retardo observado promedio de:

$$p^{\ell} = \frac{m}{n}$$

donde, por ejemplo, $p^{\ell} = ,01$ para una probabilidad de bloqueo/retardo promedio de 1%. Ahora se desea hallar el valor de la probabilidad de bloqueo/retardo del 90° percentil p de modo que:

$$E(n, m, p) = \sum_{r=m}^n C_n^r p^r q^{n-r} \geq 0,90$$

donde:

$$C_n^r = \frac{n!}{(n-r)!r!}$$

es el coeficiente binomial, y

$$q = 1 - p$$

El valor p representa el intervalo de confianza de probabilidad de bloqueo/retardo del 90 percentil. Es decir, hay un 90% de posibilidad de que el bloqueo/retardo observado sea menor o igual al valor p . Se utilizan los métodos indicados en [Wei63] para evaluar numéricamente las expresiones anteriores.

Como un ejemplo de aplicación del método anterior al modelo DEFO, se supone que el tráfico de red es tal que un millón de llamadas llegan en un solo periodo de hora cargada, y se desea diseñar la red para lograr un bloqueo/retardo promedio de 1% o menos. Si la red está diseñada según el modelo DEFO para probabilidad máxima de bloqueo/retardo de ,00995, es decir, de un millón de llamadas como máximo 9950 llamadas serán bloqueadas según el modelo DEFO, puede haber más del 90% de seguridad de que la red tiene una probabilidad de bloqueo/retardomáxima de ,01. Para un par de conmutadores específicos al que llegan 2000 llamadas en un periodo de hora cargada, se supone que se desea diseñar el par de conmutadores para obtener una probabilidad de bloqueo/retardo promedio de 1% o menos. Si la capacidad de red se diseña según el modelo DEFO para una probabilidad máxima de bloqueo/retardo de 0,0075 para el par de conmutadores, es decir, de las 2000 llamadas como máximo 15 llamadas serán bloqueadas según el modelo DEFO, puede haber más del 90% de seguridad de que el par de conmutadores tiene una probabilidad máxima de bloqueo/retardo de 0,01. Estos métodos se utilizan para asegurar que se cumplen los objetivos de diseño de probabilidad de bloqueo/retardo, tomando en consideración los errores de muestreo del modelo de eventos discretos.

La mayor ventaja del modelo DEFO es su capacidad de tener en cuenta comportamiento de encaminamiento muy complejo mediante el equivalente de un modelo de simulación proporcionado en el soporte lógico del módulo de diseño de encaminamiento. De este modo, redes de encaminamiento muy complejo han sido diseñadas por el modelo, que incluye todos los métodos de encaminamiento examinados en la Rec. UIT-T E.360.2, a saber los métodos TDR, SDR y EDR, y los modelos de asignación de recursos orientada a QoS de redes multiservicios examinados en la Rec. UIT-T E.360.3. Asimismo, procesos de tráfico complejo, tales como el tráfico autosemejante, pueden ser modelados con los métodos DEFO. En la figura 6 se muestra un flujograma del modelo DEFO en el cual se utilizan los bloques lógicos DC-SDR descritos en la Rec. UIT-T E.360.2. El modelo DEFO es suficientemente general para incluir todos los modelos de TE que no han sido determinados aún.

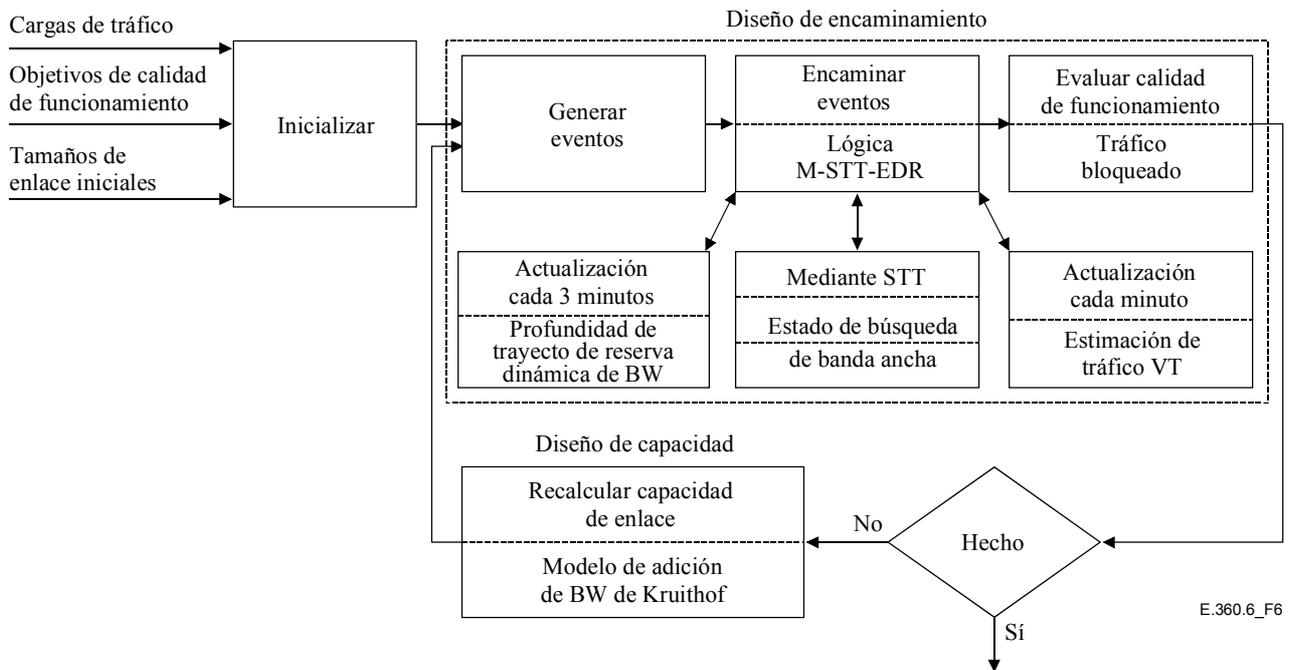


Figura 6/E.360.6 – Modelo de optimización de flujos de eventos discretos con encaminamiento dependiente de evento satisfactorio hasta el final por multienlaces (M-STT-EDR)

7.2 Modelos de optimización de flujos de carga de tráfico (TLFO)

Los modelos de optimización de flujo de carga de tráfico (TLFO, *traffic load flow optimization*) se utilizan para el diseño de red de tráfico dinámico y optimizan el encaminamiento de flujos del tráfico y las capacidades de enlace asociadas. Estos modelos generalmente resuelven ecuaciones matemáticas que describen analíticamente el encaminamiento de flujos de tráfico y, para el diseño de red dinámico, a menudo resuelven modelos de optimización de flujo de programación lineal. Se distinguen varios tipos de modelos de optimización de flujo de tráfico en base a cómo se asigna el flujo a enlaces, trayectos y rutas. En el diseño de red fijo, el flujo de tráfico se asigna a enlaces directos y el desbordamiento de los enlaces directos es encaminado a trayectos alternativos a través de la red, como se describe anteriormente. En el diseño de red dinámico, los modelos de flujo de tráfico se basan a menudo en trayectos, en los cuales el flujo es asignado a cada trayecto, o se basan en rutas, en los cuales el flujo de tráfico es asignado a rutas.

Cuando se aplican a redes de encaminamiento fijo y dinámico, los modelos TLFO basan el diseño de red en la selección de trayecto más corto y optimización de flujo de tráfico con programación lineal. En la figura 7 se ilustra un modelo de optimización de flujo de tráfico.

Hay dos versiones de este modelo: modelo TLFO basado en rutas y modelo TLFO basado en trayectos. El encaminamiento por el trayecto más corto y más barato da acceso a las conexiones a los trayectos en orden de costo, de modo que las conexiones acceden a todos los circuitos directos entre nodos antes de intentar trayectos de desbordamiento más caros. Las rutas se construyen con reglas de selección de trayecto específicas. Por ejemplo, los modelos TLFO basados en rutas construyen rutas para encaminamiento por trayectos multienlaces o de dos enlaces suponiendo capacidades de reencaminamiento automático hacia atrás y control de nodo de origen en el encaminamiento. El modelo de optimización de flujo con programación lineal trata de compartir la capacidad de enlace en la mayor medida posible con la variación de cargas en la red. Esto se hace igualando las cargas en los enlaces en todos los periodos cargados de la red, de modo que cada enlace sea utilizado al máximo en todos los periodos de tiempo. El paso del diseño de encaminamiento encuentra los trayectos más cortos entre nodos en la red, los combina en rutas

candidatas y utiliza el modelo de optimización de flujo con programación lineal para asignar el flujo de tráfico a las rutas candidatas.

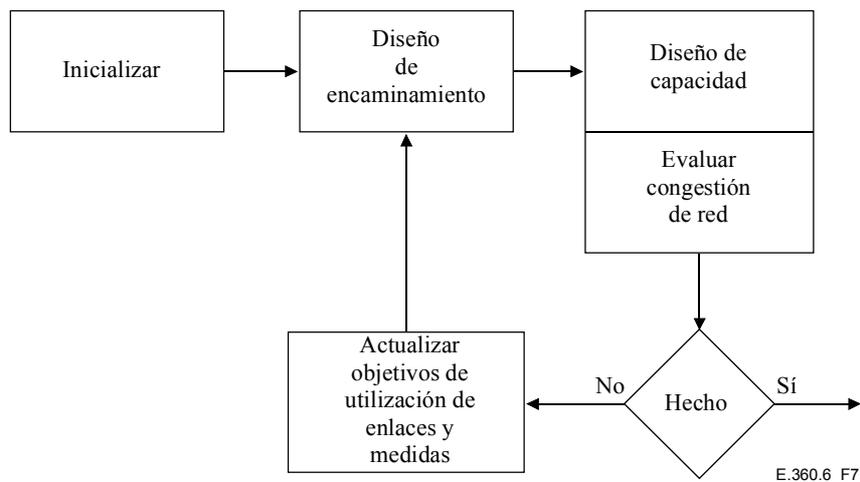


Figura 7/E.360.6 – Modelo de optimización de flujo de carga de tráfico (TLFO)

El paso del diseño de capacidad toma el diseño de ruta y aplica un modelo de flujo de tráfico de punto fijo para determinar la capacidad de cada enlace en la red. Este modelo determina el flujo en cada enlace y dimensiona el enlace para satisfacer los objetivos de diseño de nivel de calidad de funcionamiento utilizados en el paso del diseño de encaminamiento. Una vez dimensionados los enlaces, se evalúa el costo de la red y se compara con la última iteración. Si el costo de red disminuye, el modelo de actualización:

- 1) calcula la pendiente de la capacidad comparada con la curva de carga en cada enlace, que refleja el aumento de costo del enlace y actualiza la "longitud" del enlace utilizando este aumento de costo como factor de ponderación; y
- 2) recalcula una nueva estimación del desbordamiento de enlace óptimo utilizando el método descrito anteriormente.

Las nuevas longitudes de enlace y desbordamiento son introducidas en el diseño de encaminamiento, que de nuevo construye opciones de rutas a partir de los trayectos más cortos, y así sucesivamente. El hecho de minimizar el aumento de los costos de red ayuda a convertir un problema de optimización no lineal en un problema de optimización con programación lineal. Yaged [Yag71], [Yag73] y Knepley [Kne73] aprovechan este método en sus modelos de diseño de red. Esto favorece grandes enlaces que transportan tráfico con una eficacia de utilización más alta que los enlaces más pequeños. La selección de un nivel eficaz de bloqueo/retardo en cada enlace de la red es básico para el modelo TLFO basado en ruta/trayecto. El modelo de optimización de desbordamiento de enlace [Tru54] se utiliza en el modelo TLFO para dividir óptimamente la carga entre el enlace directo y la red de desbordamiento.

7.3 Modelos de optimización de flujo de haces de circuitos virtuales (VTFO)

Los modelos de optimización de flujo de haces de circuitos virtuales (VTFO, *virtual trunking flow optimization*) se utilizan para diseños de red de tráfico y de transporte fijo y dinámico. Estos modelos optimizan el encaminamiento de flujos "de haces de circuitos virtuales (VT, *virtual trunking*)", medidos en demandas de anchura de banda de VT tales como 1,5 Mbit/s, OC1, OC12, etc. Para su aplicación al diseño de red, los modelos VTFO utilizan ecuaciones matemáticas para convertir demandas de tráfico en demandas de capacidad de VT y el flujo de VT es encaminado y optimizado. La figura 8 ilustra los pasos de VTFO. El modelo VT convierte demandas de tráfico directamente en demandas de VT. Este modelo supone típicamente una estructura de encaminamiento de tráfico subyacente.

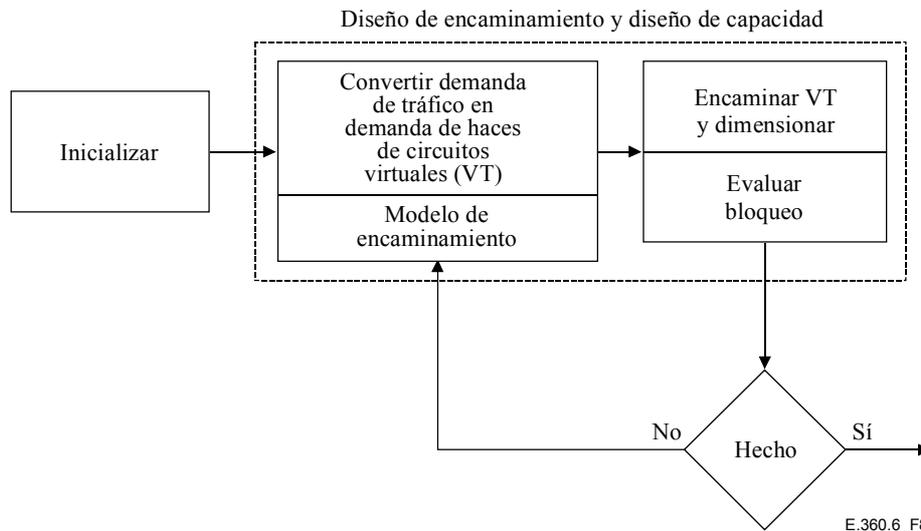


Figura 8/E.360.6 – Modelo de optimización de flujo de haces de circuitos virtuales (VTFO)

Se puede utilizar un modelo de optimización de flujo de VT con programación lineal para el diseño de red, en el cual las demandas de tráfico por hora son convertidas a demandas de VT por hora aplicando, por ejemplo, los métodos de diseño de red TLFO descritos anteriormente para cada patrón de tráfico por hora. La optimización de flujo de VT con programación lineal se usa después para encaminar óptimamente las demandas de VT de nodo a nodo por hora por los trayectos más cortos y más baratos y dimensionar los enlaces para satisfacer todas las demandas de VT. Como otra posibilidad, las demandas de tráfico de nodo a nodo son convertidas a demandas de VT de nodo a nodo utilizando el método descrito anteriormente para dividir óptimamente la carga de tráfico entre el enlace directo y la red de desbordamiento, pero en esta aplicación del modelo se obtiene una demanda de VT equivalente, por hora, en oposición a un objetivo de desbordamiento de enlaces óptimo.

8 Modelos de diseño de variación de la carga día por día

En el diseño de red se utilizan cargas de tráfico previstas, que realmente son cargas alrededor de las cuales se produce una variación de día a día, caracterizada, por ejemplo por una distribución gamma con uno de tres niveles de varianza [Wil58]. Incluso si las cargas medias previstas son correctas, las cargas realizadas reales presentan una fluctuación aleatoria de un día a otro. Los estudios han establecido que esta fuente de incertidumbre requiere aumentar la capacidad de red para mantener los objetivos de calidad de funcionamiento requeridos. Para acomodar las variaciones de cada día en el procedimiento de diseño de red se puede aplicar una técnica de carga equivalente que modela cada par de nodos en la red como un enlace equivalente diseñado para satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento. En base a los modelos de diseño de variación de día en día, tales como [HiN76], [Wil58], se determina la anchura de banda de enlace N requerida en el enlace equivalente para satisfacer los objetivos requeridos para la carga prevista R con su proporción instantánea-media (IMR, *instantaneous-to-mean ratio*) especificada y el nivel especificado de variación día por día ϕ . El valor IMR especificado y la capacidad de anchura de banda calculada N se mantienen fijos y se calcula la carga equivalente más grande, R_e , que requiere anchura de banda N para satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento si la carga prevista no tuviese variación de un día a otro. Se utiliza después la carga de tráfico equivalente R_e en lugar de R , porque produce la misma anchura de banda equivalente cuando es diseñada para el mismo nivel IMR pero sin la variación diaria.

9 Modelos de diseño de incertidumbre de previsión/capacidad de reserva

Los diseños de red se basan en cargas de tráfico medidas y en cargas de tráfico estimadas que están sujetas a error. En el diseño de red se utilizan las cargas de tráfico previstas porque debe haber capacidad de red antes de que se produzcan las cargas. Los errores en la previsión del tráfico reflejan incertidumbre sobre las cargas reales que se producirán, y como tal el diseño necesita proporcionar capacidad suficiente para satisfacer la carga prevista en la red a la luz de estos errores previstos. Los estudios han establecido que esta fuente de incertidumbre requiere aumentar la capacidad de red para mantener los objetivos de grado de servicio de probabilidad de bloqueo/retardo [FHH79].

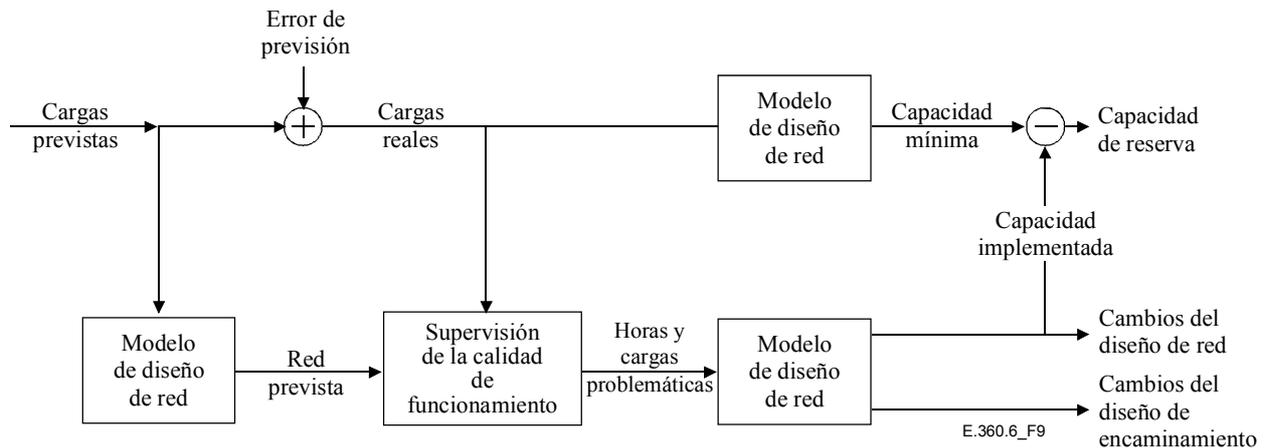


Figura 9/E.360.6 – Modelo de diseño que ilustra el compromiso entre error de previsión y capacidad de reserva

El proceso de gestión de capacidad tiene en cuenta los errores de previsión aleatorios en los procedimientos. Cuando no se cumplen algunos niveles de calidad de funcionamiento de nodo a nodo, se proporciona capacidad adicional y/o cambios de encaminamiento para restablecer la calidad de funcionamiento de la red al nivel de los objetivos. Con frecuencia la capacidad no es desconectada en el proceso de gestión de capacidad, incluso cuando los errores de previsión de la carga son tales que sería posible acomodarla sin degradar la calidad de funcionamiento. La gestión de capacidad se basa en las cargas de tráfico previstas y en la capacidad de enlace ya establecida. La consideración de la capacidad de enlace en servicio conlleva una política de encaminamiento de transporte que podría considerar:

- 1) el encaminamiento de transporte fijo, en el cual el transporte no es reestructurado; y
- 2) el encaminamiento de transporte dinámico, como se examina en la Rec. UIT-T E.360.5, que permite la reestructuración periódica del transporte, incluida la desconexión de una parte de la capacidad.

La política de desconexión de capacidad puede dejar la capacidad establecida, incluso si no es requerida por el diseño de red. La capacidad establecida en exceso de la capacidad requerida para satisfacer exactamente las cargas de diseño con la calidad de funcionamiento deseada se denomina capacidad de reserva. La estrategia de gestión de capacidad tiene repercusiones económicas y de servicio. La capacidad insuficiente significa que ocasionalmente se debe conectar capacidad de enlace con poco tiempo si la red lo requiere. Ésta es la gestión de la capacidad a corto plazo. Hay un compromiso entre la capacidad de reserva y la gestión de capacidad a corto plazo. En [FHH79] se analiza un modelo que muestra que el nivel de capacidad de reserva ha de estar en la gama de 6-25%, cuando están presentes error de previsión, error de medición y otros efectos. En redes de encaminamiento de transporte fijo, si se encuentra que los enlaces están sobrecargados cuando las cargas reales son mayores que los valores previstos, se proporciona capacidad de enlace adicional para restablecer los niveles de objetivos de calidad de funcionamiento y, como resultado, el proceso

deja a la red con capacidad de reserva aun cuando el error de previsión sea neutro. En estudios operacionales en redes de encaminamiento de transporte fijo se ha medido hasta el 20% y más para capacidad de reserva de red. Métodos tales como el filtro de Kalman [PaW82], que proporcionan previsiones de tráfico más exactas y encaminamiento de transporte que puede ser reestructurado, pueden ayudar a reducir este nivel de capacidad de reserva. A veces, el diseño planificado proporciona capacidad de enlaces menor en algún punto de la red, también debido a errores de previsión, y se requiere la gestión de capacidad a corto plazo para corregir estos errores de previsión y restablecer el servicio.

El modelo ilustrado en la figura 9 se utiliza para estudiar un diseño de red basado en las cargas previstas, en el cual el diseño de red tiene en cuenta las cargas de red vigentes y previstas en la gestión de capacidad. La gestión de capacidad puede añadir capacidad a corto plazo si el funcionamiento de la red es inaceptable para las cargas de tráfico reales y no puede ser corregido por ajustes de encaminamiento. La gestión de capacidad trata de minimizar la capacidad de reserva a la vez que mantiene los objetivos de calidad de funcionamiento de diseño y un nivel aceptable de adiciones de capacidad a corto plazo. La gestión de capacidad utiliza la previsión de tráfico, que está sujeta a error, y la red existente. El modelo supone que el diseño de red se implementa siempre y, si es necesario, se añade capacidad a corto plazo para restablecer el funcionamiento de la red cuando no se cumplen los objetivos de diseño.

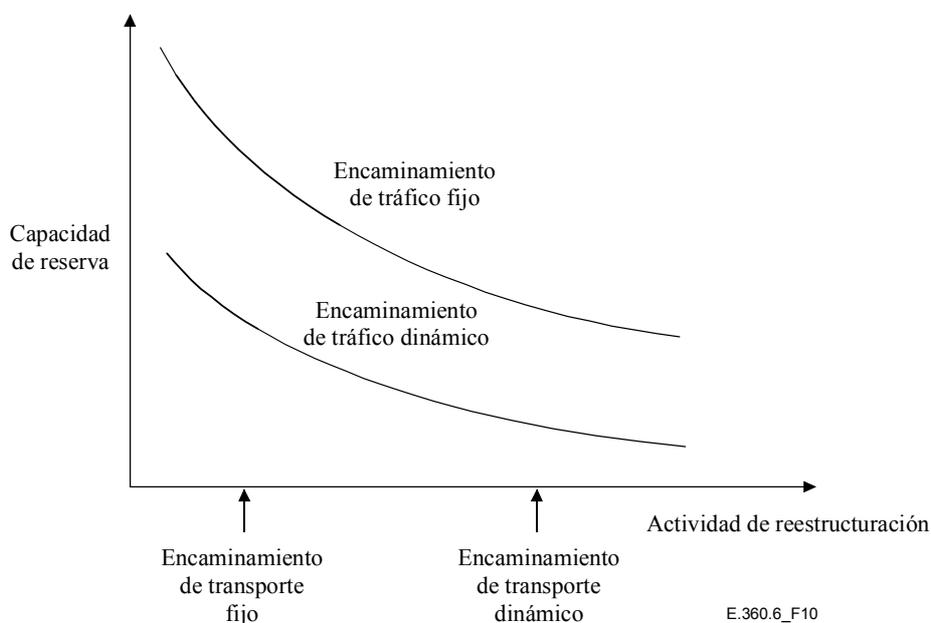


Figura 10/E.360.6 – Compromiso entre la capacidad de reserva y la actividad de reestructuración

Con el encaminamiento de tráfico y de transporte fijo, se aplican los aumentos de capacidad de enlace requeridos por el modelo de diseño, y cuando el diseño de red requiere un número menor de haces de circuitos en un enlace, se invoca una política de desconexión para decidir si los haces de circuitos deben ser desconectados. Esta política de desconexión refleja un grado de renuencia a desconectar capacidad de enlace, con el fin de asegurar que la capacidad de enlace desconectada no se necesitará poco tiempo después si las cargas de tráfico aumentan. Con el encaminamiento de tráfico dinámico y el encaminamiento de transporte fijo, es posible reducir la capacidad de reserva a la vez que se mantiene un bajo nivel de gestión de capacidad a corto plazo, y se logra también una reducción adicional de la capacidad de reserva. Con el diseño de encaminamiento de tráfico dinámico y de encaminamiento de transporte dinámico, como se ilustra en la figura 10, la capacidad de reserva puede ser reducida en comparación con el encaminamiento de transporte fijo, porque con

el diseño de red de transporte dinámico, los tamaños de los enlaces pueden ser adaptados a la carga de red.

10 Modelos de diseño de redes en malla, de baja densidad y de transporte dinámico

En los diseños de red en malla se supone una estructura de red superpuesta, como por ejemplo los haces de circuito de tráfico MPLS formados por trayectos conmutados por etiquetas (LSP, *label switched paths*) o trayectos virtuales (VP, *virtual paths*) ATM. Estos LSP se forman utilizando encaminadores conmutados por etiquetas (LSR, *label switched routers*) para establecer los trayectos. Los trayectos virtuales (VP) se forman utilizando conmutadores ATM, o quizás pudieran incluir el uso de un dispositivo de transconexión ATM. En el caso de redes en malla, todo el tráfico es enviado junto a muchos enlaces lógicos y por tanto los enlaces tienen que tener una granularidad de anchura de banda por debajo del nivel OC3. Esta capacidad de transconexión de red superpuesta es capaz de establecer enlaces lógicos de capa 2 en malla, que son multiplexados en los enlaces de ruta principal en fibra de capacidad más alta. Cuando los enlaces lógicos están muy conectados en malla, cabe emplear métodos de encaminamiento de uno y de dos enlaces, tales como STT-EDR de dos enlaces y DC-SDR de dos enlaces, si los VP o los LSP pueden ser utilizados en cascada.

Para el caso de red de baja densidad, como se ilustra en la figura 11, los enlaces lógicos se establecen utilizando conmutación de transconexión, con transconectores ópticos (OXC, *optical cross connects*), examinados en la Rec. UIT-T E.360.5. En este caso de red de baja densidad, todo el tráfico es enviado junto a un número menor de enlaces lógicos, en cuyo caso los enlaces tienen mayor granularidad de anchura de banda, OC3, OC12, OC48 y más alta. Para el diseño de red de transporte dinámico, todo el tráfico es enviado junto a un número aún menor de enlaces de ruta principal en fibra, y en ese caso la granularidad de anchura de banda es mayor, OC48, OC192 y más, correspondiente a una sola longitud de onda en un canal de fibra DWDM.

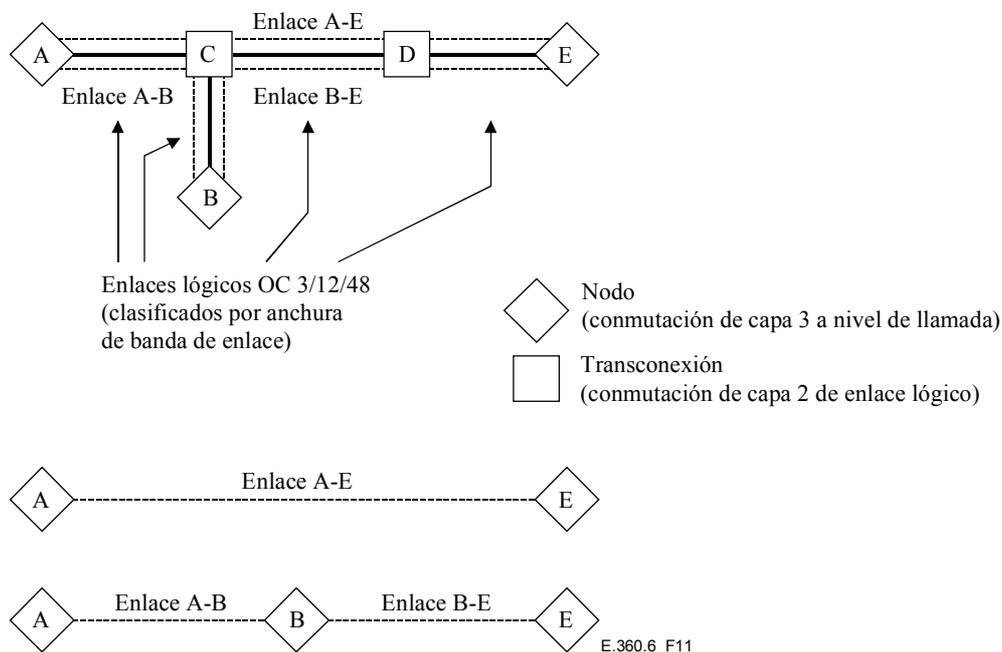


Figura 11/E.360.6 – Topología de red lógica en malla con conmutación de capa 2 de enlaces lógicos y conmutación de capa 3 a nivel de llamada

Para diseñar la red de encaminamiento de transporte dinámico, descrita en la Rec. UIT-T E.360.5, los enlaces lógicos son controlados dinámicamente dentro de la red OXC conmutando la anchura de banda en los enlaces de ruta principal en fibra a los enlaces lógicos. Como resultado, el procedimiento de diseño de redes de transporte dinámico puede ser relativamente simple. Las

demandas de tráfico de los distintos pares de nodos son enviadas juntas a los enlaces de transporte en fibra de la ruta principal, que solapan los enlaces lógicos, y cada enlace de transporte es dimensionado para transportar la demanda de tráfico total de todos los pares de nodos que utilizan el enlace de transporte en fibra de la ruta principal para tráfico de voz, datos y de banda ancha. Como se ilustra en la figura 12, una sutileza del procedimiento de diseño es decidir los objetivos de calidad de funcionamiento (por ejemplo, objetivo de bloqueo) que se han de utilizar para dimensionar los enlaces de transporte de ruta principal. La dificultad es que muchos pares de nodos envían tráfico por el mismo enlace de transporte de ruta principal, y cada uno de estos pares de nodo tiene un número diferente de enlaces de transporte de ruta principal en su trayecto, lo que significa que para cada carga de tráfico, se necesita un nivel diferente de calidad de funcionamiento (por ejemplo, bloqueo) en un enlace de transporte de ruta principal dado para asegurar, digamos, un nivel del 1% de bloqueo de extremo a extremo. Cuando hay muchas clases de tráfico presentes en el enlace, se garantiza un objetivo de grado de servicio de probabilidad de bloqueo aceptable si se identifica el trayecto a través de cada enlace de transporte que requiere el mayor número de enlaces, n , y se dimensiona el enlace a un objetivo de bloqueo $1/n$. En la figura 12, el enlace L1 tiene el número mayor n igual a 6, y el enlace L2 tiene el número mayor n igual a 4. Si el objetivo de bloqueo de extremo a extremo es 1%, los objetivos de bloqueo de enlace se determinan como se indica en la figura 12. Se demuestra así que dimensionando la red de encaminamiento de transporte dinámico de esta manera simple se logra una importante eficacia de funcionamiento.

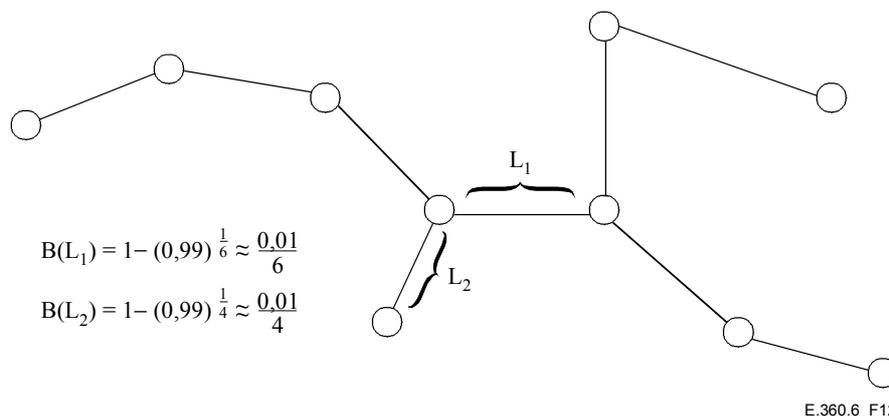


Figura 12/E.360.6 – Modelo de diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico

11 Conclusiones/recomendaciones

Se presentan las siguientes conclusiones/recomendaciones:

- Se recomiendan modelos de diseño de optimización de flujos de evento discretos (DEFO) que han demostrado ser capaces de acomodar comportamiento de encaminamiento muy complejo a través del equivalente de un modelo de simulación proporcionado en soporte lógico en el módulo de diseño de encaminamiento. Por este medio, se han diseñado redes de encaminamiento muy complejas con el modelo, que incluye todos los métodos de encaminamiento examinados en la Rec. UIT-T E.360.2 (métodos FR, TDR, SDR y EDR) y los modelos de asignación de recursos orientados a la calidad de servicio de redes multiservicios examinados en la Rec. UIT-T E.360.3.
- Se recomiendan las opciones de topología de baja densidad, tales como las opciones STT-EDR/DC-SDR/DP-SDR por multienlaces, que ofrecen ventajas de costo de capital y lo que es más importante, simplifican la explotación y reducen los costos operativos. Las economías de los costos de capital están sujetas a las hipótesis de los costos de conmutación

y transporte. Los aspectos operacionales se detallan más ampliamente en la Rec. UIT-T E.360.7.

- Se recomienda la integración de voz y datos, que:
 - a) puede proporcionar ventajas de costos de capital, y
 - b) lo que es más importante, puede simplificar la explotación y reducir los costos operativos, y
 - c) si la telefonía IP se impone y una porción importante de llamadas vocales utilizan tecnología de compresión de voz, esto podría proporcionar redes más eficaces.
- Se recomiendan los métodos de encaminamiento de multienlaces, cuyos diseños son mucho más eficaces en comparación con los métodos de encaminamiento de dos enlaces. Como se examina en la Rec. UIT-T E.360.3, las topologías de multienlaces ofrecen un mejor funcionamiento de red en condiciones de sobrecarga en comparación con las topologías de encaminamiento de dos enlaces; sin embargo, las topologías de dos enlaces funcionan mejor en condiciones de fallo.
- Se recomiendan las topologías simples de una sola zona que ofrecen un diseño más eficaz en cuanto a capacidad de terminación y de transporte, pero mayores costos y, como se examina en la Rec. UIT-T E.360.3, un mejor funcionamiento de la red 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 con el uso de métodos TE basados en EDR en comparación con los métodos TE basados en SDR.
- Se recomiendan los métodos EDR que proporcionan un diseño eficaz comparable a los métodos SDR. Esto indica que no se obtiene una ventaja importante con el empleo de información de estado de enlace en estos diseños de red, especialmente dada la elevada tara del flujo de información de estado de enlace en los métodos SDR.
- Se recomienda el encaminamiento de transporte dinámico que permite efectuar economías de capital concentrando la capacidad en un número menor de enlaces de fibra física de alta capacidad y, como se examina en la Rec. UIT-T E.360.5, proporciona un mayor caudal de red y mayores ingresos porque permite atribuir flexiblemente anchura de banda en los enlaces lógicos que sirven al acceso y al tráfico entre nodos.

Anexo A

Modelado de métodos de ingeniería de tráfico

En este anexo se utiliza de nuevo el modelo de red nacional completa mostrado en la Rec. UIT-T E.360.2 para estudiar diversos escenarios y compromisos de TE. El modelo nacional de 135 nodos se ilustra en la figura A.1/E.360.2, el modelo de demanda de tráfico multiservicios se resume en el cuadro A.1/E.360.2, y el modelo de costos en el cuadro A.2/E.360.2.

A.1 Diseño de red por red virtual comparado con diseño de red por flujo

Se ilustra el uso del modelo DEFO para diseñar una red multiservicios flujo por flujo, y red virtual por red virtual, y se proporcionan comparaciones de estos diseños. En el cuadro A.1 se resumen los diseños por flujo y por red virtual para el modelo de 135 nodos.

Cuadro A.1/E.360.6 – Comparación de diseños de atribución de anchura de banda por red virtual y por flujo – Encaminamiento de conexión STT-EDR de multienlaces – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de atribución de anchura de banda red virtual por red virtual	Diseño de atribución de anchura de banda flujo por flujo
Número de enlaces	Enlaces OC3	583	482
	Enlaces OC12	294	389
	Enlaces OC48	104	111
	Enlaces totales	981	982
Capacidad de terminación (equivalente a DS0, millones)	Enlaces OC3	3,16	2,30
	Enlaces OC12	6,07	6,64
	Enlaces OC48	7,30	7,50
	Total	16,5	16,4
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	1536,3	1185,5
	Enlaces OC12	3876,0	4105,4
	Enlaces OC48	3952,9	3994,5
	Total	9365,2	9285,3
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	61,0	44,4
	Enlaces OC12	58,5	64,0
	Enlaces OC48	28,6	29,4
	Total	148,1	137,7
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	299,6	229,8
	Enlaces OC12	621,3	659,6
	Enlaces OC48	237,3	240,0
	Total	1158,1	1129,5
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	360,6	274,2
	Enlaces OC12	679,8	723,6
	Enlaces OC48	265,8	269,5
	Total	1306,2	1267,2
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	1,84	1,86
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	982	982
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	3698	3698
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	4365	4365

De acuerdo con los resultados anteriores se observa que el diseño por red virtual comparado con el diseño por flujo da lo siguiente:

- el diseño por flujo tiene 0,996 de la capacidad de terminación total del diseño por red virtual;
- el diseño por flujo tiene 0,991 de la capacidad de transporte total del diseño por red virtual;
- el diseño por flujo tiene 0,970 del costo de red total del diseño por red virtual.

Estos resultados indican que el diseño por red virtual y el diseño por flujo son bastante comparables desde el punto de vista de los requisitos de capacidad y del costo de diseño. En la Rec. UIT-T E.360.3 se muestra que la calidad de funcionamiento de estos dos diseños es también bastante comparable en varios escenarios de red.

A.2 Diseños de red de voz/RDSI y datos integrados y separados

En el cuadro A.2 se muestran los diseños comparativos para diseños de redes de servicios separados e integrados en el encaminamiento por flujo, STT-EDR, multienlaces, en los casos siguientes:

- tráfico de voz/RDSI solamente (VNET 1-8 del cuadro A.1/E.360.2);
- tráfico de datos solamente (VNET 9-11 del cuadro A.1/E.360.2);
- diseño de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11 del cuadro A.1/E.360.2).

Cuadro A.2/E.360.6 – Comparación de diseños de voz/RDSI solamente (VNET 1-8), de datos solamente (VNET 9-11) y de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11) – Encaminamiento de conexión STT-EDR de multienlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de voz/RDSI solamente	Diseño de datos solamente	Diseño de voz/RDSI y datos integrados
Número de enlaces	Enlaces OC3	92	393	482
	Enlaces OC12	159	294	389
	Enlaces OC48	3	109	111
	Enlaces totales	254	796	982
Capacidad de terminación (equivalente a DS0, millones)	Enlaces OC3	0,36	1,87	2,30
	Enlaces OC12	2,76	4,99	6,64
	Enlaces OC48	0,20	7,34	7,50
	Total	3,31	14,2	16,4
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	380,1	937,7	1185,5
	Enlaces OC12	1284,4	3025,8	4105,4
	Enlaces OC48	160,0	3853,4	3994,5
	Total	1824,5	7816,9	9285,3
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	6,92	36,0	44,4
	Enlaces OC12	26,6	48,1	64,0
	Enlaces OC48	0,78	28,7	29,4
	Total	34,2	112,8	137,7

Cuadro A.2/E.360.6 – Comparación de diseños de voz/RDSI solamente (VNET 1-8), de datos solamente (VNET 9-11) y de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11) – Encaminamiento de conexión STT-EDR de multienlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de voz/RDSI solamente	Diseño de datos solamente	Diseño de voz/RDSI y datos integrados
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	70,0	182,2	229,8
	Enlaces OC12	211,1	486,8	659,6
	Enlaces OC48	9,33	231,9	240,0
	Total	290,4	900,9	1129,5
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	76,9	218,3	274,2
	Enlaces OC12	237,7	534,9	723,6
	Enlaces OC48	101,2	260,6	269,5
	Total	324,7	1013,8	1267,2
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	2,32	1,96	1,86
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	254	796	982
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	2895	3350	3698
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	5806	4899	4365
	# Pares de nodos 4 enlaces/conexión	90	0	0

De los resultados anteriores se observa que los diseños de voz/RDSI y datos separados comparados con el diseño de servicios integrados da lo siguiente:

- el diseño integrado tiene 0,937 de la capacidad de terminación total como los diseños de voz/RDSI y datos separados;
- el diseño integrado tiene 0,963 de la capacidad de transporte total como los diseños de voz/RDSI y datos separados;
- el diseño integrado tiene 0,947 del costo total como los diseños de voz/RDSI y datos separados.

Estos resultados indican que el diseño integrado es un poco más eficaz debido a la economía de escala de los elementos de red de más alta capacidad, como se refleja en el modelo de costo reproducido en el cuadro A.2/E.360.2.

Los diseños comparativos para redes separadas e integradas con el encaminamiento de conexiones STT-EDR de dos enlaces con gestión de recursos orientada a QoS por flujo se muestran en el cuadro A.3 para los siguientes casos:

- tráfico de voz/RDSI solamente (VNET 1-8 del cuadro A.1/E.360.2);
- tráfico de datos solamente (VNET 9-11 del cuadro A.1/E.360.2);
- diseño de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11 del cuadro A.1/E.360.2).

Cuadro A.3/E.360.6 – Comparación de diseños de red de voz/RDSI solamente (VNET 1-8), de datos solamente (VNET 9-11) y de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11) – Encaminamiento de conexión STT-EDR por 2 enlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de voz/RDSI solamente	Diseño de datos solamente	Diseño de voz/RDSI y datos integrados
Número de enlaces	Enlaces OC3	170	61	47
	Enlaces OC12	169	92	100
	Enlaces OC48	0	186	192
	Enlaces totales	339	339	339
Capacidad de terminación (equivalente a DS0, millones)	Enlaces OC3	0,65	0,35	0,28
	Enlaces OC12	3,85	2,02	2,22
	Enlaces OC48	0,0	20,1	23,1
	Total	4,50	22,5	25,6
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	1031,0	611,4	501,0
	Enlaces OC12	9823,5	3401,0	3600,2
	Enlaces OC48	0,0	6133,9	7529,4
	Total	2013,4	10.146,3	11,630,6
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	12,6	6,84	5,44
	Enlaces OC12	37,1	19,5	21,4
	Enlaces OC48	0,0	78,8	90,6
	Total	49,7	105,1	117,4
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	186,7	110,4	90,4
	Enlaces OC12	173,7	522,0	553,1
	Enlaces OC48	0,0	392,5	477,5
	Total	360,4	1024,9	1120,9
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	199,3	117,2	95,8
	Enlaces OC12	210,8	541,5	574,4
	Enlaces OC48	0,0	471,3	568,1
	Total	410,1	1130,0	1238,4
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	2,77	2,77	2,77
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	340	340	340
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	3249	3249	3249
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	8487	8487	8487
	# Pares de nodos 4 enlaces/conexión	14	14	14

De los resultados anteriores se observa que los diseños de voz/RDSI y datos separados comparados con el diseño de servicios integrados da lo siguiente:

- el diseño integrado tiene 0,948 de la capacidad de terminación total como los diseños de voz/RDSI y datos separados;
- el diseño integrado tiene 0,956 de la capacidad de transporte total como los diseños de voz/RDSI y datos separados;
- el diseño integrado tiene 0,804 del costo total como los diseños de voz/RDSI y datos separados.

Estos resultados indican que el diseño integrado es un poco más eficaz en la de terminación y de transporte de diseño. Es aproximadamente 20% más eficaz debido a la economía de escala de los elementos de red de más alta capacidad, como se refleja en el modelo de costo reproducido en el cuadro A.2/E.360.2.

Los diseños comparativos para redes separadas e integradas con el encaminamiento de conexiones DC-SDR de dos enlaces con gestión de recursos orientada a QoS por flujo se muestran en el cuadro A.4 para los siguientes casos:

- tráfico de voz/RDSI solamente (VNET 1-8 del cuadro A.1/E.360.2);
- tráfico de datos solamente (VNET 9-11 del cuadro A.1/E.360.2);
- diseño de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11 del cuadro A.1/E.360.2).

Cuadro A.4/E.360.6 – Comparación de diseños redes de voz/RDSI solamente (VNET 1-8), de datos solamente (VNET 9-11) y de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11) – Encaminamiento de conexión DC-SDR por 2 enlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de voz/RDSI solamente	Diseño de datos solamente	Diseño de voz/RDSI y datos integrados
Número de enlaces	Enlaces OC3	170	63	48
	Enlaces OC12	169	90	99
	Enlaces OC48	0	186	192
	Enlaces totales	339	339	339
Capacidad de terminación (equivalente a DS0, millones)	Enlaces OC3	0,65	0,37	0,29
	Enlaces OC12	3,83	2,00	2,20
	Enlaces OC48	0,0	20,1	23,17
	Total	4,48	22,5	25,66
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	1029,7	638,3	501,2
	Enlaces OC12	976,0	335,7	3599,6
	Enlaces OC48	0,0	613,4	7528,9
	Total	2005,7	10128,9	11.629,8
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	12,5	7,12	5,60
	Enlaces OC12	36,9	19,3	21,2
	Enlaces OC48	0,0	78,8	90,7
	Total	49,4	105,2	117,5

Cuadro A.4/E.360.6 – Comparación de diseños redes de voz/RDSI solamente (VNET 1-8), de datos solamente (VNET 9-11) y de voz/RDSI y datos integrados (VNET 1-11) – Encaminamiento de conexión DC-SDR por 2 enlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de voz/RDSI solamente	Diseño de datos solamente	Diseño de voz/RDSI y datos integrados
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	186,4	115,2	90,5
	Enlaces OC12	172,6	515,2	552,9
	Enlaces OC48	0,0	392,5	477,6
	Total	359,0	1023,0	1238,5
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	199,0	122,4	96,1
	Enlaces OC12	209,5	534,5	574,1
	Enlaces OC48	0,0	471,3	568,3
	Total	408,4	1128,1	1238,5
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	2,77	2,77	2,77
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	340	340	340
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	3249	3249	3249
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	8487	8487	8487
	# Pares de nodos 4 enlaces/conexión	14	14	14

De los resultados anteriores se observa que los diseños de voz/RDSI y datos separados comparados con el diseño de servicios integrados da lo siguiente:

- el diseño integrado tiene 0,951 de la capacidad de terminación total como los diseños de voz/RDSI y datos separados;
- el diseño integrado tiene 0,958 de la capacidad de transporte total como los diseños de voz/RDSI y datos separados;
- el diseño integrado tiene 0,806 del costo total como los diseños de voz/RDSI y datos separados.

Estos resultados indican que el diseño integrado es un poco más eficaz en cuanto a la capacidad de terminación y de transporte. Es aproximadamente 20% más rentable debido a la economía de escala de elementos de red de capacidad más alta, como se refleja en el modelo de costos del cuadro A.2/E.360.2.

A.3 Diseño de red multienlaces comparado con diseño de red de dos enlaces

De acuerdo con los resultados de los cuadros A.2 y A.3 se observa que el diseño de red EDR multienlaces comparado con el diseño EDR de dos enlaces da lo siguiente:

- el diseño EDR multienlaces de voz/RDSI solamente tiene 0,735 de la capacidad de terminación total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces de voz/RDSI solamente tiene 0,906 de la capacidad de transporte total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces de voz/RDSI solamente tiene 0,792 del costo total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces de datos solamente tiene 0,631 de la capacidad de terminación total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces de datos solamente tiene 0,770 de la capacidad de transporte total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces de datos solamente tiene 0,897 del costo total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces integrado tiene 0,640 de la capacidad de terminación total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces integrado tiene 0,798 de la capacidad de transporte total del diseño de dos enlaces;
- el diseño EDR multienlaces integrado tiene 1,023 del costo total del diseño de dos enlaces.

Estos resultados muestran que los diseños multienlaces son generalmente más eficaces que los diseños de dos enlaces en cuanto a la capacidad de transporte y de terminación, y que el costo es menor para los diseños separados y comparables para el diseño integrado.

A.4 Diseño de red simple de una zona comparado con diseño de red jerárquica de dos niveles

En el cuadro A.5 se ilustra el uso del modelo DEFO para diseñar una red multiservicios jerárquica de dos niveles flujo por flujo y una red jerárquica de dos niveles red virtual por red virtual, y se proporcionan comparaciones de estos diseños. Se recuerda que el modelo jerárquico, ilustrado en la figura A.1/E.360.2 está formado por 135 nodos de contorno y 21 nodos de ruta principal. Los nodos de contorno están direccionados a los nodos de ruta principal en una relación jerárquica. En el cuadro A.5 se resumen los diseños por flujo y por red virtual para el modelo jerárquico de 135 nodos de contorno y 21 nodos de ruta principal.

Cuadro A.5/E.360.6 – Comparación de diseños de atribución de anchura de banda por red virtual y por flujo – Encaminamiento de conexión STT-EDR – Topología jerárquica de dos niveles de múltiples zonas de baja densidad, de 135 nodos de contorno y 21 nodos de ruta principal (Modelo de red multiservicios, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de atribución de anchura de banda red virtual por red virtual	Diseño de atribución de anchura de banda flujo por flujo
Número de enlaces	Enlaces OC3	60	40
	Enlaces OC12	97	113
	Enlaces OC48	186	187
	Enlaces totales	343	340
Capacidad de terminación (equivalente a DS0, millones)	Enlaces OC3	0,36	0,21
	Enlaces OC12	2,09	2,18
	Enlaces OC48	19,62	18,72
	Total	22,08	21,12
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	654,4	377,2
	Enlaces OC12	3462,2	3608,0
	Enlaces OC48	5870,9	5923,6
	Total	9987,5	9908,8
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	70,0	4,1
	Enlaces OC12	20,2	21,0
	Enlaces OC48	76,8	73,3
	Total	104,0	98,5
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	118,0	68,0
	Enlaces OC12	531,6	554,0
	Enlaces OC48	376,7	377,1
	Total	1026,3	991,2
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	125,0	72,2
	Enlaces OC12	551,8	57,5
	Enlaces OC48	453,5	450,4
	Total	1130,3	1097,6

Cuadro A.5/E.360.6 – Comparación de diseños de atribución de anchura de banda por red virtual y por flujo – Encaminamiento de conexión STT-EDR – Topología jerárquica de dos niveles de múltiples zonas de baja densidad, de 135 nodos de contorno y 21 nodos de ruta principal (Modelo de red multiservicios, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de atribución de anchura de banda red virtual por red virtual	Diseño de atribución de anchura de banda flujo por flujo
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	2,90	2,77
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	344	340
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	2706	3249
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	6703	8487
	# Pares de nodos 4 enlaces/conexión	2158	14
	# Pares de nodos 5 enlaces/conexión	179	0

De los resultados anteriores se observa que el diseño jerárquico por red virtual comparado con el diseño jerárquico por flujo da lo siguiente:

- el diseño jerárquico por flujo tiene 0,956 de la capacidad de terminación total del diseño jerárquico por red virtual;
- el diseño jerárquico por flujo tiene 0,992 de la capacidad de transporte total del diseño jerárquico por red virtual;
- el diseño jerárquico por flujo tiene 0,971 del costo de red total del diseño jerárquico por red virtual.

Estos resultados indican que el diseño jerárquico por red virtual y el diseño jerárquico por flujo son bastante comparables desde el punto de vista de los requisitos de capacidad y de los costos de diseño. En la Rec. UIT-T E.360.3 se muestra que la calidad de funcionamiento de estos dos diseños es también bastante comparable para una gama de escenarios de red.

Al comparar los cuadros A.1 y A.5 se puede observar la capacidad relativa del diseño de red simple de una zona y el diseño de red jerárquica de dos niveles de múltiples zonas (caso flujo por flujo):

- el diseño de red simple de una sola zona tiene 0,776 de la capacidad de terminación total del diseño jerárquico de dos niveles de múltiples zonas;
- el diseño de red simple de una sola zona tiene 0,937 de la capacidad de transporte total del diseño jerárquico de dos niveles de múltiples zonas;
- el diseño de red simple de una sola zona tiene 1,154 del costo de red total del diseño jerárquico de dos niveles de múltiples zonas.

En este modelo, los diseños de red simple de una sola zona tienen menor capacidad de terminación y de transporte que los diseños de redes jerárquicas de múltiples zonas, que por consiguiente son más eficaces desde el punto de vista de la capacidad. Sin embargo los diseños jerárquicos parecen ser menos costosos que los diseños de red simple, debido al mayor porcentaje de enlaces OC48 en los diseños jerárquicos, que están siempre considerablemente más dispersos que en el diseño simple

y por tanto las cargas de tráfico están concentradas en un número menor de enlaces más grandes. Como se examina en la Rec. UIT-T E.360.2, en el modelo de costos está incorporada una economía de escala que suministra enlaces de capacidad más alta (por ejemplo, OC48 comparado con OC3) con un costo por unidad de anchura de banda considerablemente menor, por lo que el costo de red total es más bajo. Sin embargo, los resultados de los análisis relativos a la calidad de funcionamiento examinados en la Rec. UIT-T E.360.3 muestran que los diseños simples funcionan mejor que los diseños jerárquicos en los escenarios de sobrecarga y de fallo modelados. Ésta es también una consecuencia de la red jerárquica de más de baja densidad y de la menor disponibilidad de trayectos alternativos para un funcionamiento de red más robusto.

A.5 Diseño de red EDR comparado con diseño de red SDR

A continuación se examinan los diseños de red en malla para la red STT-EDR de dos enlaces y la red DC-SDR de dos enlaces, tratados en la Rec. UIT-T E.360.2. Los diseños para las redes de encaminamiento de conexiones STT-EDR de dos enlaces y DC-SDR, con gestión de recursos orientada a QoS flujo por flujo, se muestran en el cuadro A.6, que se obtienen también utilizando el modelo DEFO de 135 nodos.

Cuadro A.6/E.360.6 – Comparación de diseños de encaminamiento de conexión STT-EDR por 2 enlaces y DC-SDR por 2 enlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona en malla (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño STT-EDR de 2 enlaces	Diseño DC-SDR de 2 enlaces
Número de enlaces	Enlaces OC3	47	48
	Enlaces OC12	100	99
	Enlaces OC48	192	192
	Enlaces totales	339	339
Capacidad de terminación (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	0,28	0,29
	Enlaces OC12	2,22	2,20
	Enlaces OC48	23,14	23,17
	Enlaces totales	25,64	25,66
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	501,0	501,2
	Enlaces OC12	3600,2	3599,6
	Enlaces OC48	7529,4	7528,9
	Total	11,630,6	11.629,8
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	5,44	5,60
	Enlaces OC12	21,4	21,2
	Enlaces OC48	90,6	90,7
	Total	117,4	117,5
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	90,4	90,5
	Enlaces OC12	553,1	552,9
	Enlaces OC48	477,5	477,6
	Total	1120,9	1121,0

Cuadro A.6/E.360.6 – Comparación de diseños de encaminamiento de conexión STT-EDR por 2 enlaces y DC-SDR por 2 enlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona en malla (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño STT-EDR de 2 enlaces	Diseño DC-SDR de 2 enlaces
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	95,8	96,1
	Enlaces OC12	574,4	574,1
	Enlaces OC48	568,1	568,3
	Total	1238,4	1238,5
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	2,77	2,77
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	340	340
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	3249	3249
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	8487	8487
	# Pares de nodos 4 enlaces/conexión	14	14

De acuerdo con los resultados anteriores se observa que el diseño de red EDR comparado con el diseño SDR da lo siguiente:

- el diseño EDR tiene 0,999 de la capacidad de terminación total del diseño SDR;
- el diseño EDR tiene 1,000 de la capacidad de transporte total del diseño SDR;
- el diseño EDR tiene 0,999 del costo de red total del diseño SDR.

Se señala que los diseños son muy comparables entre sí y tienen esencialmente el mismo costo de diseño de red total. Esto indica que el empleo de información de estado de enlace en estos diseños de red no ofrece una ventaja importante, y dada la alta tara del flujo de información de estado de enlace, se prefieren los métodos EDR.

A.6 Diseño de red de encaminamiento de transporte dinámico comparado con diseño de red de encaminamiento de transporte fijo

Por último, se examina el diseño de encaminamiento de transporte dinámico comparado con el encaminamiento de transporte fijo. En el modelo se supone encaminamiento de conexiones STT-EDR multienlaces con gestión de recursos orientada a QoS flujo por flujo y se utiliza también el modelo de diseño DEFO para el modelo de red de 135 nodos. Los resultados se resumen en el cuadro A.7.

Cuadro A.7/E.360.6 – Comparación de diseños de encaminamiento de transporte fijo y de encaminamiento de transporte dinámico – Encaminamiento de conexión STT-EDR por multienlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de encaminamiento de transporte fijo	Diseño de encaminamiento de transporte dinámico
Número de enlaces	Enlaces OC3	482	0
	Enlaces OC12	389	0
	Enlaces OC48	111	173
	Enlaces totales	982	173
Capacidad de terminación (equivalente a DS0, millones)	Enlaces OC3	2,30	0
	Enlaces OC12	6,64	0
	Enlaces OC48	7,50	18,0
	Total	16,4	18,0
Capacidad de transporte (equivalente a millas de DS0, millones)	Enlaces OC3	1185,5	0
	Enlaces OC12	4105,4	0
	Enlaces OC48	3994,5	9731,0
	Total	9285,3	9731,0
Costo de terminación (millones de \$)	Enlaces OC3	44,4	0
	Enlaces OC12	64,0	0
	Enlaces OC48	29,4	70,6
	Total	137,7	70,6
Costo de transporte (millones de \$)	Enlaces OC3	229,8	0
	Enlaces OC12	659,6	0
	Enlaces OC48	240,0	584,2
	Total	1129,5	584,2
Costo total (millones de \$)	Enlaces OC3	274,2	0
	Enlaces C12	723,6	0
		269,5	654,8
	Total	1267,2	654,8

Cuadro A.7/E.360.6 – Comparación de diseños de encaminamiento de transporte fijo y de encaminamiento de transporte dinámico – Encaminamiento de conexión STT-EDR por multienlaces; atribución de anchura de banda por flujo – Topología simple de una sola zona de baja densidad (Modelo de red multiservicios de 135 nodos, modelo de diseño DEFO)

Parámetros de diseño de red		Diseño de encaminamiento de transporte fijo	Diseño de encaminamiento de transporte dinámico
Análisis de encaminamiento (hora cargada de red)	Promedio de enlaces/conexión	1,86	2,49
	# Pares de nodos 1 enlace/conexión	982	173
	# Pares de nodos 2 enlaces/conexión	3698	2371
	# Pares de nodos 3 enlaces/conexión	4365	6085
	# Pares de nodos 4 enlaces/conexión	0	416

De acuerdo con los resultados anteriores se observa que el diseño de red de transporte fijo comparado con el diseño de transporte dinámico da lo siguiente:

- el diseño de transporte dinámico tiene 1,097 de la capacidad de terminación total del diseño de red de transporte fijo;
- el diseño de transporte dinámico tiene 1,048 de la capacidad de transporte total del diseño de red de transporte fijo;
- el diseño de transporte dinámico tiene 0,516 del costo de red total del diseño de red de transporte fijo.

Estos resultados indican que el diseño de transporte dinámico tiene mayor capacidad de terminación y mayor capacidad de transporte que el diseño de red de transporte fijo, pero con un costo mucho menor. La mayor capacidad se debe a la mayor granularidad de la anchura de banda de enlace de ruta principal en fibra comparada con la granularidad de enlace lógico en el caso de encaminamiento de transporte fijo. El menor costo de la red de transporte dinámico se debe a las economías de escala de los elementos de transporte y de terminación de más alta capacidad, como se refleja en el cuadro A.2/E.360.2. En la Rec. UIT-T E.360.3 se muestra que la calidad de funcionamiento de estos dos diseños es también bastante comparable en una gama de escenarios de red.

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