



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.737

(02/2001)

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

Ingeniería de tráfico – Ingeniería de tráfico de RDSI

Métodos de dimensionado en la RDSI-BA

Recomendación UIT-T E.737

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

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	
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.

Métodos de dimensionado en la RDSI-BA

Resumen

Esta Recomendación proporciona los principios y métodos generales del dimensionado de las RDSI-BA desde la perspectiva a nivel de llamada y conexión. Se describe en ella una técnica de modelado de la red para el dimensionado y los controles del tráfico a nivel de llamada y conexión, tales como el encaminamiento del tráfico y la reserva de la anchura de banda. Se presentan los tipos de demanda de llamada que se tienen en cuenta en el dimensionado de la red, suponiendo que se dispone de las capacidades de señalización de RSDI-BA. Se describen los principios de los métodos de dimensionado de la red y se dan varios ejemplos de métodos de cálculo del grado de servicio de extremo a extremo (es decir, de las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones).

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.737, revisada por la Comisión de Estudio 2 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 2 de febrero de 2001.

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 2002

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

Página

1	Alcance de esta Recomendación.....	1
2	Referencias.....	1
3	Términos y definiciones	2
3.1	conexión modo de transferencia asíncrono: Una VCC o VPC.....	2
4	Abreviaturas.....	3
5	Introducción.....	4
6	Modelado de la red para el dimensionado	6
6.1	Modelo de red	6
6.2	Objetivos del dimensionado de la red y objetivos de GOS	8
7	Control del tráfico a nivel de llamada y conexión	9
7.1	Encaminamiento de una conexión ATM.....	9
7.1.1	Visión general del proceso de encaminamiento.....	9
7.2	Esquemas de protección del servicio.....	10
7.2.1	Reserva de la anchura de banda	10
7.2.2	Otros esquemas	11
7.3	Prioridad de llamada.....	11
7.4	Negociación de la anchura de banda en el momento del establecimiento de la conexión.....	11
8	Modelado del tráfico ofrecido.....	12
8.1	Visión de conjunto del control de llamada/conexión soportado en la RDSI-BA	12
8.1.1	Tipos representativos de llamada/conexión	12
8.1.2	Modificación de la conexión.....	13
8.2	Tipos de demanda de llamada.....	13
9	Dimensionado de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único.....	14
9.1	Modelo para dimensionado.....	14
9.1.1	Uso de la ECR.....	14
9.1.2	Hipótesis	15
9.1.3	Cuantificación de la anchura de banda	15
9.1.4	Probabilidad de bloqueo de conexión.....	16
9.1.5	Controles del tráfico a nivel de conexión	16
9.2	Principios del método de dimensionado	16
9.3	Cálculo de las probabilidades de bloqueo de las conexiones de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda.....	17
9.3.1	Dimensionado de un grupo sin control de prioridad de nivel de célula	17
9.3.2	Dimensionado de un grupo con un control de prioridad de nivel de célula ..	18

	Página
10	Dimensionado de una red 18
10.1	Principios de los métodos de dimensionado de una red 19
10.2	Principios de los métodos de cálculo del bloqueo de extremo a extremo 20
10.2.1	Análisis del espacio de estados 20
10.2.2	Método del punto fijo 21
10.3	Cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo A 22
10.3.1	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con el esquema de encaminamiento de compartición de carga 23
10.3.2	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con esquemas de encaminamiento alternativos 23
10.3.3	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con otros esquemas de encaminamiento 23
10.4	Cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo B 23
10.4.1	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con el esquema de encaminamiento de compartición de carga 24
10.4.2	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con otros esquemas de encaminamiento 24
10.5	Cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con otros tipos de llamada 24
11	Historial 24
Anexo A	– Ejemplos de métodos de cálculo de probabilidades de bloqueo individual en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda 24
A.1	Resumen de los métodos 24
A.2	Notaciones 25
A.3	Método Kaufman-Roberts 25
A.4	Método tipo Hayward 26
Anexo B	– Ejemplo de método de cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo A 27
B.1	Ejemplo con el esquema de encaminamiento de compartición de carga 27
B.1.1	Modelo de red 27
B.1.2	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo 28
B.2	Ejemplo con un esquema de encaminamiento alternativo 30
B.2.1	Modelo de red 30
B.2.2	Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo 30
Anexo C	– Ejemplo de método de cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo B 31
C.1	Ejemplo con esquema de encaminamiento de compartición de carga 31
C.1.1	Modelo de red 31

	Página
C.1.2 Probabilidades de bloqueo de llamadas y conexiones de extremo a extremo	32
Apéndice I – Bibliografía	33

Recomendación UIT-T E.737

Métodos de dimensionado en la RDSI-BA

1 Alcance de esta Recomendación

La finalidad de la presente Recomendación es proporcionar directrices de dimensionado en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA), que permitan a la entidad operadora de red satisfacer los objetivos de grado de servicio (GOS) a nivel de llamada y conexión desde la perspectiva del plano de usuario. En esta Recomendación, se tienen en cuenta los servicios portadores de la RDSI-BA soportados por los conjuntos de capacidades 1 y 2.1 de señalización de RDSI-BA. Aunque en los mencionados conjuntos no se soportan las conexiones de trayecto virtual por demanda, se tienen en cuenta también en el modelado de la demanda de tráfico de usuario. La presente versión sólo trata de las conexiones del modo de transferencia asíncrono (ATM) soportadas por capacidades de transferencia ATM de velocidad binaria determinística, velocidad binaria estadística y velocidad binaria disponible.

Las directrices de dimensionado para el plano de control en la RDSI-BA quedan fuera del alcance de la presente Recomendación.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- UIT-T E.170 (1992), *Encaminamiento del tráfico*.
- UIT-T E.177 (1996), *Encaminamiento en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.
- UIT-T E.525 (1992), *Diseño de redes para controlar el grado de servicio*.
- UIT-T E.526 (1993), *Dimensionado de haces de circuitos con servicios portadores multintervalo y sin entradas de desbordamiento*.
- UIT-T E.716 (1996), *Modelado de la demanda de usuario en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.
- UIT-T E.731 (1992), *Métodos para dimensionar recursos que funcionan en modo conmutación de circuitos*.
- UIT-T E.735 (1997), *Marco para el control del tráfico y el dimensionado en la RDSI-BA*.
- UIT-T E.736 (2000), *Métodos para el control de tráfico a nivel de célula en la RDSI-BA*.
- UIT-T I.121 (1991), *Aspectos de banda ancha de la RDSI*.
- UIT-T I.150 (1999), *Características funcionales del modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA*.
- UIT-T Q.2722.1 (1996), *Parte usuario de la RDSI-BA – Especificación de la interfaz de nodo de red para el control de la llamada/conexión punto a multipunto*.
- UIT-T Q.2726.2 (1996), *Parte usuario de la RDSI-BA – Prioridad de llamada*.

- UIT-T Q.2761 (1999), *Descripción funcional de la parte usuario de la RDSI-BA del sistema de señalización N.º 7.*
- UIT-T Q.2762 (1999), *Funciones generales de mensajes y señales de la parte usuario de la RDSI-BA del sistema de señalización N.º 7.*
- UIT-T Q.2763 (1999), *Parte usuario de la RDSI-BA del sistema de señalización N.º 7 – Formatos y códigos.*
- UIT-T Q.2764 (1999), *Parte usuario de la RDSI-BA del sistema de señalización N.º 7 – Procedimientos de llamada básica.*
- UIT-T Q.2931 (1995), *Sistema de señalización digital de abonado N.º 2 – Especificación de la capa 3 de la interfaz usuario-red para el control de llamada/conexión básica.*
- UIT-T Q.2959 (1996), *Sistema de señalización digital de abonado N.º 2 – Prioridad de llamada.*
- UIT-T Q.2961.x, *Sistema de señalización digital de abonado N.º 2 – Parámetros de tráfico adicionales.*
- UIT-T Q.2962 (1998), *Sistema de señalización digital de abonado N.º 2 – Negociación de las características de conexión durante la fase de establecimiento de la comunicación/conexión.*
- UIT-T Q.2963.1 (1996), *Sistema de señalización digital de abonado N.º 2 – Modificación de la conexión: Modificación de la velocidad de cresta de células por el propietario de la conexión.*
- UIT-T Q.2971 (1995), *Sistema de señalización digital de abonado N.º 2 – Especificación de la capa 3 para la interfaz usuario-red para el control de llamada/conexión punto a multipunto.*

3 Términos y definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

- 3.1 conexión modo de transferencia asíncrono:** Una VCC o VPC.
- 3.2 sentido hacia adelante:** Sentido de la comunicación del usuario llamante al usuario llamado.
- 3.3 sentido hacia atrás:** Sentido de la comunicación del usuario llamado al usuario llamante.
- 3.4 enlace modo de transferencia asíncrono:** Trayecto de transmisión junto con su memoria tampón asociada en el nodo sentido ascendente.
- 3.5 conjunto de enlaces modo de transferencia asíncrono:** Conjunto de todos los enlaces ATM con el mismo sentido de transmisión que interconectan dos nodos ATM sin ningún nodo ATM intermedio.
- 3.6 conjunto de conexiones de trayectos virtuales:** Conjunto de todas las VPC con el mismo sentido de transmisión que interconectan dos nodos de VC sin ningún nodo de VC intermedio.
- 3.7 módulo de ancho de banda:** Una cantidad de ancho de banda de un enlace ATM no atribuida a las VPC red-red pero que puede ser atribuida a las VPC/VCC de usuario a usuario (véase 6.1).
- 3.8 conjunto de módulos de ancho de banda:** Conjunto de todos los módulos de ancho de banda de un conjunto de enlaces ATM.

3.9 grupo de conexiones de trayectos virtuales: Las VPC de un conjunto de VPC dado que tienen las mismas características permanentes y de funcionamiento, por ejemplo, el tiempo de propagación y la calidad de funcionamiento a nivel de célula.

3.10 grupo de módulos de ancho de banda: Módulos de ancho de banda de un conjunto de módulos de ancho de banda dado que tienen las mismas características permanentes y de funcionamiento, por ejemplo, el tiempo de propagación y la calidad de funcionamiento a nivel de célula.

3.11 ruta: Una concatenación de grupos de VPC/grupos módulos de ancho de banda del nodo de origen al nodo de destino de una conexión ATM.

3.12 velocidad de células equivalente: Una velocidad de células atribuida a una conexión de modo que se satisfacen los objetivos de GOS a nivel de célula en un enlace ATM o una VPC de red mientras la suma de velocidades de células equivalentes no sea superior a la velocidad del enlace ATM o la VPC.

Se señala que todos los objetos (esto es, conexión, enlace, módulo de ancho de banda, conjuntos y grupos respectivos y ruta) definidos más arriba son unidireccionales.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

ABR	Velocidad binaria disponible (<i>available bit rate</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
CAC	Control de admisión de conexión
CLP	Prioridad de pérdida de células (<i>cell loss priority</i>)
CS _n	Conjunto de capacidades n (<i>capability set n</i>)
DBR	Velocidad binaria determinística (<i>deterministic bit rate</i>)
ECR	Velocidad de células equivalente (<i>equivalent cell rate</i>)
GOS	Grado de servicio (<i>grade of service</i>)
INI	Interfaz inter-red (<i>inter-network interface</i>)
MCR	Velocidad mínima de célula (<i>minimum cell rate</i>)
PCR	Velocidad de células de cresta (<i>peak cell rate</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
RDSI-BA	Red digital de servicios integrados de banda ancha
RDSI-BE	Red digital de servicios integrados de banda estrecha
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SBR	Velocidad binaria estadística (<i>statistical bit rate</i>)
STD	Descriptor del tráfico de origen (<i>source traffic descriptor</i>)
TP	Trayecto de transmisión (<i>transmission path</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user-network interface</i>)
VC	Canal virtual (<i>virtual channel</i>)
VCC	Conexión de canal virtual (<i>virtual channel connection</i>)
VP	Trayecto virtual (<i>virtual path</i>)

VPC	Conexión de trayecto virtual (<i>virtual path connection</i>)
VPI	Identificador de trayecto virtual (<i>virtual path identifier</i>)

5 Introducción

La RDSI-BA soportará conexiones ATM conmutadas, semipermanentes y permanentes, punto a punto y punto a multipunto y proporciona servicios por demanda, reservados y portadores permanentes, como se indica en UIT-T I.121. Ese servicio portador de la RDSI-BA se presta utilizando conexiones ATM usuario a usuario que se establecen en la red. La presente Recomendación se centra en los servicios portadores de la RDSI-BA por demanda proporcionados a los usuarios.

La Recomendación UIT-T E.735 proporciona el marco para el control del tráfico y el dimensionado en la RDSI-BA a fin de dar una directriz general sobre diseño de la red. La citada Recomendación describe la estructura general de la RDSI-BA, diferentes tipos de redes y la relación entre el control del tráfico a nivel de célula de que trata UIT-T E.736 y el dimensionado. La presente Recomendación se basa en el marco de UIT-T E.735.

Según UIT-T E.735, al trayecto de transmisión (TP, *transmission path*) que interconecta dos nodos ATM adyacentes físicamente junto con su memoria tampón asociada se le denomina **enlace ATM**, y al conjunto de enlaces ATM entre los dos nodos se le denomina **conjunto de enlaces ATM**. Un enlace se encamina a través de una concatenación de facilidades de transmisión. Los enlaces de un conjunto de enlaces pueden tener características diferentes (por ejemplo, el tiempo de propagación). Las VPC red a red se pueden establecer entre dos nodos de VC adyacentes o la parte VC de dos nodos de VP-VC adyacentes. Al conjunto de todas las VPC entre los dos nodos se le denomina **conjunto de VPC** en las Recomendaciones de la serie E.700 sobre ingeniería de tráfico de la RDSI-BA. Una VPC red a red se encamina a través de una concatenación de enlaces ATM que interconectan sus nodos de origen y destino, con lo que las VPC de un conjunto de VPC pueden no ser homogéneas con respecto a características permanentes, tales como el número de enlaces de VP en una VPC y el tiempo de propagación. Dentro de un conjunto de VPC, las VPC que tienen las mismas características permanentes y características de calidad de funcionamiento a nivel de célula se denominan **grupo de VPC**¹. Cada VPC de un conjunto de VPC pertenece a uno de los grupos de VPC del conjunto. Un grupo de VPC puede estar compuesto por una sola VPC. En la presente Recomendación se supone que una VPC determinada proporciona la misma calidad de funcionamiento a nivel de célula a todas las VCC que contiene. Por consiguiente, una de las características de funcionamiento común consiste en que en todas las VCC se da la misma calidad de funcionamiento a nivel de célula, por ejemplo, en lo relativo a pérdida de células, retardo de células y variación del retardo de células. Las VPC de un grupo de VPC son del mismo tipo (es decir, VPC de DBR conformada, VPC de velocidad constante no controlada o VPC de velocidad variable). En la presente Recomendación, se denomina **módulo de ancho de banda** a una cantidad de ancho de banda de un enlace ATM que no está atribuida a VPC red a red pero que puede atribuirse a VPC/VCC usuario a usuario, y se denomina **conjunto de módulos de ancho de banda** al conjunto de todos los módulos de ancho de banda terminados entre los dos mismos nodos ATM adyacentes. En cuanto a como se agrupan las VPC de un conjunto de VPC dentro de un conjunto de módulos de ancho de banda, los módulos de ancho de banda que tienen las mismas características de calidad de funcionamiento permanente y a nivel de célula se denominarán **grupo de módulos de ancho de banda**. Para el agrupamiento de módulos de ancho de banda de un conjunto de módulos de ancho de

¹ La definición de grupo de VPC en esta Recomendación es la misma que la de UIT-T E.177, con la salvedad de que el grupo de VPC de la presente Recomendación es unidireccional, esto es, definido para cada sentido, hacia adelante y hacia atrás, de la transmisión. En esta Recomendación se considera un caso particular en el que los grupos de VPC constituyen una parte desglosada del conjunto de VPC.

banda se aplica el mismo principio que para el agrupamiento de las VPC. La figura 1 nos muestra los enlaces ATM, las VPC y los módulos de ancho de banda de una red.

En esta Recomendación se supone que la incidencia en el dimensionado de la red de los mecanismos de control a nivel de célula y las limitaciones a la capacidad de la memoria tampón se tienen en cuenta mediante la noción de velocidad de células equivalentes (ECR, *equivalent cell rate*) analizada en UIT-T E.735 y E.736: cada petición de conexión se caracteriza de manera exclusiva a efectos de dimensionado de la red mediante su valor de ECR. Esta Recomendación ofrece métodos para el cálculo del valor de ECR para conexiones DBR y SBR; para conexiones ABR sería conveniente dar a ECR el mismo valor que el del parámetro MCR. Puesto que esta Recomendación se refiere al dimensionado de anchuras de banda, se señala que si se cambia alguno de los factores que determina la ECR (por ejemplo, los tamaños de memoria tampón), las ECR revisadas pueden influir en el dimensionado necesario de las anchuras de banda. La repercusión de la prioridad de pérdida de células (CLP, *cell loss priority*) queda en estudio.

Por lo general, las variables de diseño principales que se han de determinar en el dimensionado de la RDSI-BA desde la perspectiva a nivel de llamada y conexión son como sigue:

- a nivel físico:
 - 1) tamaño de cada conjunto de enlaces ATM, esto es, el número de TP con diversas capacidades disponibles (por ejemplo, 45 Mbit/s, 155 Mbit/s, 620 Mbit/s);
 - 2) asignación de VPC red a red y módulos de ancho de banda a los TP;
- a nivel lógico:
 - 1) tamaño de cada VPC red a red y módulo de ancho de banda y de cada grupo de VPC/módulos de ancho de banda;
 - 2) parámetros que definen el control del tráfico a nivel de llamada y conexión, por ejemplo, el encaminamiento de llamadas y conexiones y los métodos de protección del servicio.

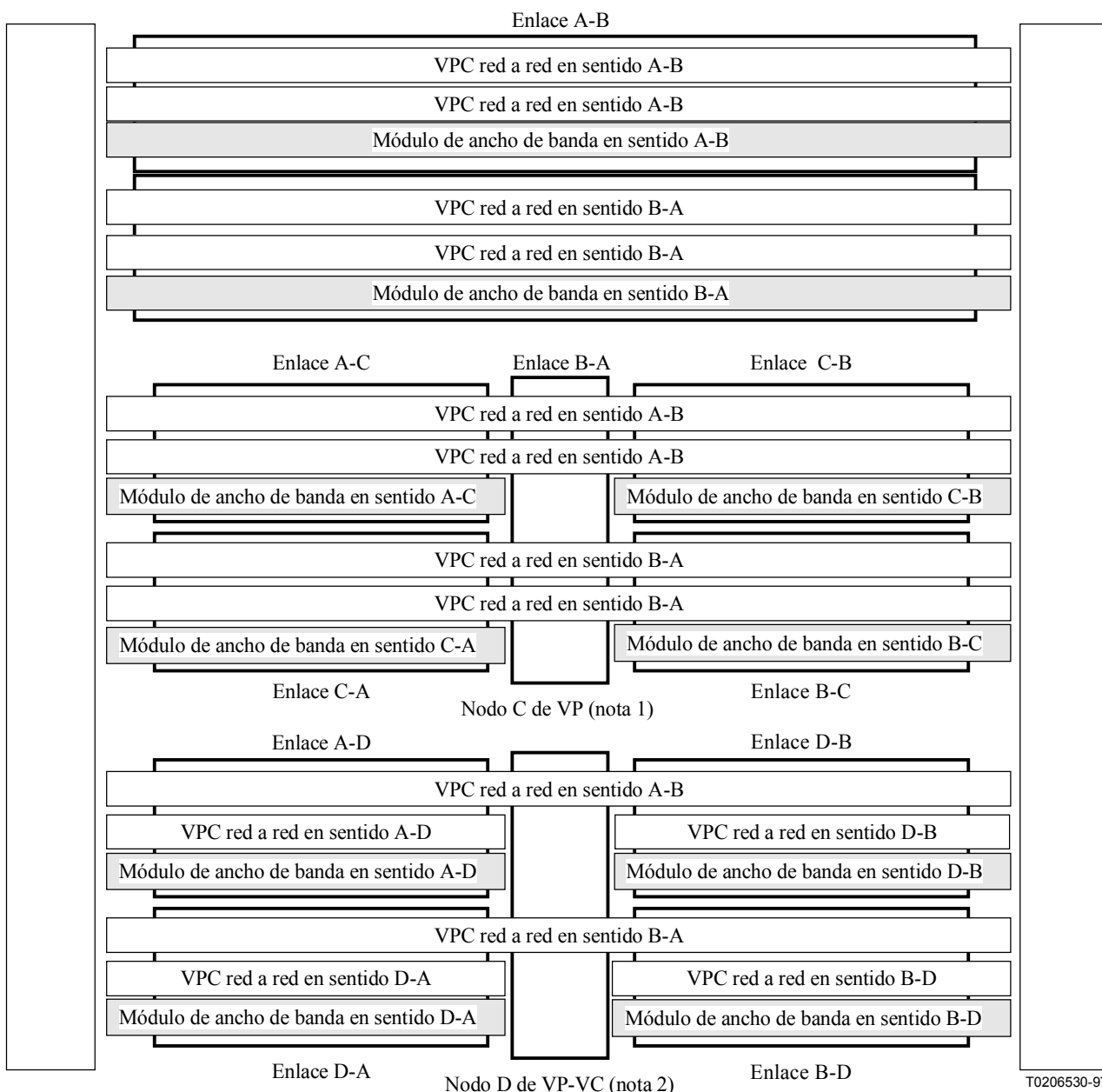
La definición de la topología de la red, tanto a nivel lógico como a nivel físico, queda fuera del alcance de la presente Recomendación. El diseño de una red de transmisión, (por ejemplo, el dimensionado de las facilidades de transmisión y la asignación de los TP a las facilidades de transmisión) también queda fuera del alcance de la presente Recomendación.

El objetivo de esta Recomendación es proporcionar posibles métodos de utilidad en el dimensionado de la red para un conjunto dado de hipótesis respecto a la demanda de tráfico y de objetivos de GOS, en particular, objetivos de probabilidad de bloqueo de llamadas/conexiones. Para dimensionar la red a fin de que cumpla los objetivos de GOS, es importante poder evaluar la característica de GOS de una red de determinadas dimensiones, a fin de juzgar si la calidad de funcionamiento es satisfactoria. En esta Recomendación se presentan, sobre todo, técnicas de modelado de redes y métodos de evaluación de la característica de GOS.

En consonancia con el progreso actual en materia de normalización relacionada con la RDSI-BA, la presente Recomendación se centra principalmente en las capacidades de la RDSI-BA que influyen de manera significativa en el dimensionado de la red:

- red de VPC semipermanentes para configurar una red de servicios portadores basados en las VCC;
- servicios portadores por demanda proporcionados por conexiones ATM usuario a usuario;
- llamadas simétricas o asimétricas;
- llamadas/conexiones punto a multipunto unidireccionales;
- prioridad de llamada;
- negociación en el momento del establecimiento de la comunicación/conexión.

El alcance y el contenido de esta Recomendación se ampliarán de modo que se satisfagan las necesidades operativas que se planteen a medida que evolucionen las capacidades de la red.



T0206530-97

NOTA 1 – Se pueden establecer VPC usuario a usuario por demanda a través del módulo de ancho de banda terminado en un nodo de VP.

NOTA 2 – Se pueden establecer VPC y VCC usuario a usuario por demanda a través del módulo de ancho de banda terminado en un nodo de VP-VC.

Figura 1/E.737 – Ejemplo de configuraciones de VPC/módulos de ancho de banda

6 Modelado de la red para el dimensionado

6.1 Modelo de red

A efectos de ingeniería de tráfico a nivel de llamada y conexión, se puede modelar una red al nivel lógico como un sistema compuesto de varios bloques de construcción que son cada uno una VPC red

a red o un módulo de ancho de banda. La figura 1 muestra un ejemplo de modelo de red que soporta varias VCC y VPC usuario a usuario por demanda simultáneamente.

En la Recomendación UIT-T E.735 se identifican tres tipos de VPC:

- 1) VPC de DBR conformada;
- 2) VPC de velocidad constante no controlada; y
- 3) VPC de velocidad variable.

El cuadro 1 presenta de forma resumida el parámetro que representa la anchura de banda de cada tipo de VPC. En el caso de una VPC de velocidad variable, la anchura de banda puede ser diferente en cada uno de los enlaces por los que se lleva, ya que se puede asignar un valor de ECR diferente a la VPC de cada enlace. En UIT-T E.736 se dan ejemplos de procedimientos de CAC para un enlace ATM con cada uno de los tres tipos de VPC y cada uno de los dos esquemas de multiplexación: el esquema de asignación de velocidad de cresta y el esquema de multiplexación de envolvente de velocidad.

Cuadro 1/E.737 – Anchura de banda de VPC

Tipo de VPC	Anchura de banda
VPC de DBR conformada	PCR
VPC de velocidad constante no controlada	Velocidad
VPC de velocidad variable	ECR

En la presente Recomendación, para simplificar el modelo de red a efectos de dimensionado, se supone que el CAC de un enlace se basa en el modelo de ECR; esto significa que el CAC del enlace asigna una ECR² a cada conexión que se ha de llevar, y puede aceptar nuevas conexiones mientras la suma de las ECR de las conexiones establecidas no exceda de la anchura de banda del enlace. En un enlace se pueden preestablecer varias VPC red a red. Se asigna una VCC usuario a usuario por demanda a la VPC red a red apropiada o se establece directamente en el enlace en base, por ejemplo, al destino solicitado o al tipo de conexión. Las VPC usuario a usuario por demanda se establecen directamente en el enlace. Cuando se preestablecen VPC red a red en un enlace, se supone que el modelo de ECR se aplica también, tanto al CAC del enlace como al CAC de cada VPC. A tal fin, se asigna una cantidad de anchura de banda a cada VPC preestablecida y la cantidad restante de anchura de banda del enlace se asigna al módulo de ancho de banda que, por definición, es la cantidad de anchura de banda de enlace que se utiliza para llevar las VCC usuario a usuario por demanda, llevados directamente por el enlace y VPC usuario a usuario por demanda. Así pues, la capacidad del módulo de ancho de banda del enlace viene dada por:

$$\text{Anchura de banda de un módulo de ancho de banda} = \text{velocidad de transmisión del enlace} - \sum(\text{ECR de todas las VPC red a red del enlace}) \quad (6-1)$$

En los CAC de las VPC y del enlace se supone que la suma de las ECR³ de las conexiones llevadas en cada VPC/módulo de ancho de banda no exceden de la anchura de banda que se le ha asignado.

² La ECR de cada conexión depende de las características de tráfico de la conexión y de los parámetros y atributos que determinan la capacidad del enlace (anchura de banda, tamaño de memoria tampón y mecanismos y parámetros de control de prioridad); y su combinación de tráfico esperada.

³ Se señala que la ECR de una conexión, cuando el enlace se ha dividido entre VPC/módulos de ancho de banda, puede ser diferente de su ECR cuando no se efectúa la división.

La anchura de banda de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda viene dada por la suma de las anchuras de banda de las VPC/módulos de ancho de banda del grupo, siendo todas las VPC del grupo del mismo tipo.

Obsérvese que el modelo de red que hay que estudiar dependerá de los requisitos de precisión del dimensionado. En la etapa inicial del dimensionado de la red, así como en una planificación de la misma a largo plazo, se puede elaborar un modelo de red aproximado, por ejemplo, para encontrar configuraciones de red adecuadas e identificar los requisitos de capacidad global. Un ejemplo sencillo consiste en representar la capacidad unidireccional total entre dos nodos adyacentes mediante un enlace ATM, VPC o módulo de ancho de banda único.

La RDSI-BA soportará una gran variedad de llamadas/conexiones y los tipos de llamada/conexión soportados en la red evolucionarán de acuerdo con los avances en la capacidad de tratamiento de llamadas de la red. En la etapa inicial, la RDSI-BA con el conjunto de capacidades 1 de señalización puede soportar una llamada asimétrica con configuración punto a punto (véanse UIT-T Q.2761, Q.2762, Q.2763, Q.2764 y Q.2931). En etapas posteriores, la red puede soportar tipos de llamada más complejos, tales como llamadas multiconexión y llamadas multipunto. A efectos de ingeniería de tráfico, se debe construir un modelo que represente el tráfico ofrecido a la red deseada especificando los tipos de llamada y conexión que se suponen. Se necesitan, por consiguiente, tipos de demanda de llamada apropiados a efectos de ingeniería de tráfico, para que los modelos de tráfico sean manejables, e identificar al mismo tiempo los factores esenciales que inciden de manera importante en el dimensionado de la red. La cláusula 8 trata de los tipos de demanda de llamada para el dimensionado de la RDSI-BA.

6.2 Objetivos del dimensionado de la red y objetivos de GOS

El principal objetivo del dimensionado de una red a nivel de llamada y conexión es determinar los parámetros de capacidad de los enlaces, las VPC y los módulos de ancho de banda de la red junto con los parámetros del control de tráfico a nivel de llamada y conexión para conseguir, de manera económica, unos objetivos definidos en materia de GOS. En la presente Recomendación, se considera provisionalmente la probabilidad de bloqueo de llamadas y conexiones de extremo a extremo como los parámetros de GOS que se tendrán en cuenta en el proceso de dimensionado de la red. La probabilidad de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo se define aquí como la probabilidad de que no se establezca de manera satisfactoria una llamada/conexión que llega debido a la falta de recursos suficientes para la llamada/conexión en el plano de usuario de la red. Los valores deseados de los parámetros de GOS se tratarán en las Recomendaciones UIT-T de la serie E.720.

El dimensionado debe hacerse de modo que se satisfagan los objetivos de GOS en un periodo de referencia. En la RDSI-BA se plantea una dificultad al determinar la duración apropiada del periodo de referencia, dada la gran variedad de tiempos de ocupación de las llamadas. Por ejemplo, una llamada telefónica puede tener una duración de varios minutos mientras que las videoconferencias pueden durar varias horas. Un periodo de referencia de una hora (la hora cargada) podría ser adecuado para llamadas telefónicas. Incluso si pudiera considerarse que la distribución a largo plazo del número de llamadas de larga duración es una distribución de Poisson durante la hora cargada (por ejemplo, teniendo en cuenta las horas cargadas durante un año), este número es casi fijo en cada una de las horas cargadas. Así pues, el grado de servicio para llamadas de corta duración no es cualitativamente el mismo que con recursos dedicados exclusivamente a llamadas de corta duración, ya que la probabilidad de bloqueo esperada varía mucho de una hora cargada a otra (dependiendo del volumen de recursos ocupados por las llamadas de larga duración en cada hora cargada) [ROB]. Esta variación de las probabilidades de bloqueo esperadas de una a otra hora cargada para las llamadas de corta duración es más grande si la anchura de banda requerida por una llamada de larga duración es notablemente mayor que la anchura de banda requerida por una llamada de corta duración. Se recomienda un método de protección del servicio que garantice un volumen mínimo de recursos para las llamadas de servicios de breve duración prevista, garantizando así un cierto grado de servicio

para esas llamadas en la hora cargada más desfavorable. De cualquier modo, es preciso seguir estudiando las implicaciones que tiene la existencia de una gran variedad de tiempos de ocupación.

Los objetivos de bloqueo de extremo a extremo se dividen en objetivos de bloqueo para cada parte de la red. El dimensionado de la red puede simplificarse, por tanto, descomponiendo el modelo de red global en modelos de red más pequeños. La división de los objetivos de GOS se tratará en las Recomendaciones UIT-T de la serie E.720.

Puesto que la asignación de recursos para una conexión ATM en una RDSI-BA se efectúa en los momentos de establecimiento y se modifican los parámetros de la conexión durante la vida útil de la misma (véanse UIT-T Q.2725.1, Q.2725.2, Q.2962 y Q.2963.1), el bloqueo en ambos casos interviene en los parámetros de calidad de funcionamiento de la llamada y la conexión. En la presente Recomendación, no obstante, sólo se trata el bloqueo de peticiones de establecimiento de conexión y por eso se habla de bloqueo de la conexión. El bloqueo de peticiones de modificación de conexión queda en estudio.

7 Control del tráfico a nivel de llamada y conexión

Los controles de tráfico a nivel de llamada y conexión más importantes a efectos de dimensionado de la red son:

- 1) los esquemas de encaminamiento de la llamada/conexión;
- 2) los métodos de protección del servicio;
- 3) la prioridad de llamada;
- 4) la negociación de anchura de banda.

Estos controles del tráfico tienen una incidencia notable en el dimensionado de la red.

7.1 Encaminamiento de una conexión ATM

Para establecer una conexión ATM pedida por un usuario, se ha de seleccionar una ruta entre el par de nodos de origen y destino y a continuación una VPC/un módulo de ancho de banda en cada grupo de VPC/módulo de ancho de banda de la ruta, definiéndose una ruta como una concatenación de grupos de VPC/módulos de ancho de banda desde el nodo de origen al nodo de destino. El encaminamiento es un control del tráfico a nivel de llamada y conexión y, en el modelo de red de ingeniería de tráfico, los esquemas de encaminamiento constituyen una regla con la que determinar a qué VPC/módulos de ancho de banda se asigna una conexión ATM dada.

7.1.1 Visión general del proceso de encaminamiento

Como se indica en UIT-T E.177, el encaminamiento de una conexión ATM por demanda en la RDSI-BA consta de dos procesos: el de selección de ruta y el de selección de VPC/módulo de ancho de banda. Estos dos procesos se pueden efectuar simultáneamente. Como resultado de ambos, se determina una concatenación de VPC/módulos de ancho de banda desde el nodo de origen al nodo de destino para cada una de las conexiones pedidas.

1) *Selección de ruta*

La selección de ruta consiste en determinar la ruta por la cual se va a establecer una conexión. Las rutas que se pueden asignar a una clase de conexiones dependen de diversos factores, tales como los requisitos de QoS a nivel de célula de las conexiones, las clases de servicio y de QoS que proporciona la red, la política de explotación de la red, etc. Por ejemplo, una determinada ruta puede no ser utilizada para ciertas clases de conexiones porque el tiempo de propagación de la ruta para las conexiones resulta insatisfactorio. Esta disposición puede llevar a la restricción de la gama de rutas asignables en el encaminamiento de conexiones. En el dimensionado de la red se han de tener en cuenta las restricciones y las reglas de selección de ruta, ya que repercuten en la disponibilidad de los

recursos de red para cada clase de conexiones y, por tanto, en la calidad de funcionamiento a nivel de llamada y conexión de la red. No obstante, a efectos de dicho dimensionado, se puede utilizar un modelo simplificado de los esquemas de selección de ruta en el modelo de red.

Un esquema de encaminamiento fijo es tal que se asocia una clase determinada de conexiones ATM a un grupo determinado de VPC/módulos de ancho de banda y se supone que una conexión bloqueada en ese grupo de VPC/módulos de ancho de banda se ha perdido y ha sido liberada. Otros posibles esquemas que se aplican a la selección de rutas en la red son el de compartición de carga, el de encaminamiento alternativo fijo, el de encaminamiento dinámico, etc. En UIT-T E.170 figuran los principios de encaminamiento del tráfico.

2) *Selección de VPC/módulo de ancho de banda*

Si se dispone de más de una VPC/un módulo de ancho de banda para una nueva conexión en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda a lo largo de la ruta seleccionada, es preciso determinar a qué VPC/módulo de ancho de banda debe asignarse la conexión. Las selecciones de VPC/módulo de ancho de banda para cada conexión en una llamada pueden depender unas de otras. Por ejemplo, como se especifica en UIT-T E.150, el mismo VPI se asigna a ambos sentidos de la transmisión en una comunicación determinada en una interfaz de RDSI-BA. La dependencia entre selecciones de VPC/módulo de ancho de banda para las conexiones en una llamada lleva también a una restricción del encaminamiento de las conexiones ATM en la red. En el dimensionado de la red se han de tener en cuenta las restricciones y las reglas de selección de VPC/módulo de ancho de banda, ya que repercuten en la disponibilidad de los recursos de grupos de VPC/módulos de ancho de banda para cada clase de conexiones y, por tanto, en la calidad de funcionamiento a nivel de llamada y conexión de los grupos de VPC/módulos de ancho de banda. No obstante, a efectos de dicho dimensionado, se puede utilizar un modelo simplificado de los respectivos esquemas de selección de VPC/módulo de ancho de banda en el modelo de red.

7.2 **Esquemas de protección del servicio**

Para alcanzar los objetivos de característica de GOS a nivel de llamada y conexión de manera económica, se pueden aplicar algunos esquemas de protección del servicio, por ejemplo el de reserva de la anchura de banda, a los grupos de VPC/módulos de ancho de banda de la red.

Las Recomendaciones UIT-T E.525 y E.731 presentan esquemas de protección del servicio disponibles en el marco del modelo de conexiones multiintervalo. El mismo principio de los esquemas se puede aplicar para el dimensionado de una RDSI-BA.

7.2.1 **Reserva de la anchura de banda**

El principio de reserva de anchura de banda consiste en restringir el acceso a una clase de conexiones ATM en función del estado de asignación de anchura de banda del grupo de VPC/módulos de ancho de banda en el momento de llegada de la conexión. Se puede conseguir la utilización superior de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda mediante el control de acceso, empleando la información de estado detallada [OD1]. No obstante, para simplificar la implementación se puede aplicar el control de acceso empleando información parcial sobre los estados del grupo de VPC/módulos de ancho de banda. Una conexión ATM, por ejemplo, puede ser aceptada o rechazada en función simplemente de la anchura de banda en reposo que queda en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda en el momento de la llegada de la conexión.

Por ejemplo, dada una combinación de tráfico ofrecida a una VPC con una determinada cantidad de anchura de banda, si no se utiliza el control de acceso las probabilidades de bloqueo de las VCC que requieren una anchura de banda mayor son normalmente superiores a las de las VCC que necesitan una anchura de banda menor. Si algunas de las probabilidades de bloqueo rebasan sus objetivos específicos de calidad de funcionamiento a nivel de llamada y conexión, la capacidad de la VPC se

puede aumentar simplemente para resolver el problemas del nivel de calidad de funcionamiento insatisfactorio. La utilización de la reserva de la anchura de banda, no obstante, puede solucionar el problema con un pequeño incremento de la anchura de banda de la VPC, o sin incremento alguno. Lo normal es que los parámetros de reserva de la anchura de banda se fijen de modo que se rechacen las peticiones de conexiones con necesidades de anchura de banda menores, para proteger las peticiones de conexión con necesidades de anchura de banda mayores.

Para una determinada combinación de tráfico y un conjunto dado de objetivos de bloqueo de conexión, el grupo de VPC/módulos de ancho de banda con una anchura de banda dada puede tener tres regiones diferentes de carga de tráfico. La primera es la región de carga baja en la que todos los objetivos de bloqueo se satisfacen sin utilizar la reserva de la anchura de banda. La segunda es la región de carga alta en la que todos los objetivos se satisfacen utilizando la reserva de la anchura de banda. La tercera es la región de sobrecarga en la que no todos los objetivos se satisfacen reservando anchura de carga. Así pues, la utilización de la reserva de la anchura de banda puede tener significado para la región de carga alta en el estricto sentido de alcanzar los objetivos de calidad de funcionamiento a nivel de conexión.

A efectos de dimensionado, se supondrá que la política de reserva de la anchura de banda se aplicará en base a un grupo de VPC/módulos de ancho de banda, sin que las políticas aplicadas a los diferentes grupos dependan entre sí. Son posibles diversas maneras de implementar la reserva de la anchura de banda en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda. Una implementación simplificada consiste en aplicar separadamente la reserva a cada una de las VPC o cada uno de los módulos de ancho de banda del grupo de modo que se controle el acceso de las VCC en base a una VPC/un módulo de ancho de banda.

Se señala además que pueden aplicarse diferentes parámetros de reserva a los sentidos hacia adelante y hacia atrás de una determinada llamada.

7.2.2 Otros esquemas

Además de la reserva de anchura de banda puede haber otros esquemas de protección del servicio. Este aspecto queda en estudio.

7.3 Prioridad de llamada

El CS-2.1 de señalización de RDSI-BA soportará la especificación de usuario de prioridad de llamada (véanse UIT-T Q.2721.1, Q.2726.2 y Q.2959). La red puede asignar recursos a las llamadas de acuerdo con los niveles de prioridad y los mecanismos de control implementados en la red y las prioridades de llamada especificadas por los usuarios.

Se pueden aplicar objetivos de bloqueo de llamada diferentes para las diferentes prioridades establecidas. A tal fin puede utilizarse la reserva de la anchura de banda. En la presente Recomendación no se consideran otras implicaciones de la prioridad de llamada en el dimensionado de la red.

7.4 Negociación de la anchura de banda en el momento del establecimiento de la conexión

El principio de la negociación de la anchura de banda en el momento del establecimiento de la conexión consiste en cambiar los requisitos en materia de recursos de una conexión ATM con respecto al requisito inicial, dependiendo de los estados de la red en ese momento. Este mecanismo de control lo soporta el CS-2.1 de señalización de RDSI-BA (véanse UIT-T Q.2721.1, Q.2725.1 y Q.2962).

La negociación de la anchura de banda puede llevarse a cabo según diversas opciones de implementación. Las características de las demandas de usuario, caso de que se disponga del mecanismo de negociación en la red, también pueden variar ampliamente. El CS-2.1 de señalización de RDSI-BA soportará la especificación de usuario de una velocidad de células ATM alternativa y

una velocidad de células ATM mínima (véase UIT-T Q.2961). A efectos de ingeniería de tráfico, se pueden deducir modelos sencillos de mecanismos de negociación y utilizarlos en los modelos de red. Un ejemplo de modelo de negociación consistiría en que, al pedirse una conexión ATM con especificación por el usuario tanto de la velocidad de células de cresta que se pretende en principio como de la velocidad de células de cresta mínima admisible y ser rechazada la velocidad inicial por la red, la red pudiera asignar para la conexión la totalidad de la capacidad en reposo, como resultado de la negociación, suponiendo que la cantidad de anchura de banda asignada no fuese inferior a la velocidad de células de cresta mínima especificada (véase UIT-T E.731).

La Recomendación UIT-T E.731 presenta un modelo multiintervalo de un grupo de circuitos en el que una llamada negocia su número de circuitos al establecerse la comunicación, y proporciona un método de cálculo de la probabilidad de bloqueo de la llamada. La misma técnica se puede aplicar a un modelo de RDSI-BA cuando sea válida la misma hipótesis.

Los detalles de la negociación de la anchura de banda quedan en estudio.

8 Modelado del tráfico ofrecido

Por lo general, una llamada soportada en la RDSI-BA puede constar de múltiples conexiones ATM unidireccionales. Las conexiones pueden tener una configuración punto a punto o punto a multipunto. Se puede establecer un subconjunto de las conexiones pedidas en la llamada en la misma VPC/el mismo módulo de ancho de banda si el CAC lo acepta. El número de conexiones en cada sentido de la comunicación y las configuraciones de las conexiones en la llamada se especifican como uno de los atributos de llamada. La Recomendación UIT-T E.716 describe el modelado de las demandas de usuario en las RDSI-BA, lo que permite al operador de red caracterizar el tráfico ofrecido a la red de servicios portadores de la RDSI-BA.

Es evidente la dificultad que presenta en la práctica el dimensionado distinguiendo numerosos tipos de llamada en base a características de detalle de tráfico. Por eso es necesario modelar la petición de llamadas a efectos de dimensionado, para facilitar un procedimiento de dimensionado. A tal fin, es importante identificar los aspectos esenciales de los tipos representativos de llamadas que soporta la RDSI-BA desde el punto de vista de la ingeniería de tráfico y deducir tipos efectivos de demanda de llamada.

8.1 Visión de conjunto del control de llamada/conexión soportado en la RDSI-BA

8.1.1 Tipos representativos de llamada/conexión

Las Recomendaciones de la serie Q relativas a la señalización de la RDSI-BA especifican las capacidades de la UNI y la INI de la RDSI-BA. Los tipos de llamada/conexión soportados por la red están determinados por los conjuntos de capacidades de señalización de la RDSI-BA que soporten los nodos ATM de la red.

8.1.1.1 Llamada punto a punto simétrica/asimétrica soportada por el CS-1 de señalización de RDSI-BA

Una llamada punto a punto simétrica/asimétrica soportada por el CS-1 de señalización de RDSI-BA (los procedimientos de control de la llamada/conexión se describen en UIT-T Q.2931 y Q.2764) puede pedir un par de VCC con velocidades de células de cresta diferentes: una en el sentido hacia adelante y otra en el sentido hacia atrás. La llamada es aceptada si son aceptadas ambas VCC. De no ser así, es rechazada.

8.1.1.2 Llamada punto a multipunto unidireccional soportada por el CS-2.1 de señalización de RDSI-BA

Una llamada/conexión punto a multipunto unidireccional soportada por el CS-2.1 de señalización de RDSI-BA (el procedimiento de llamada/control se describe en UIT-T Q.2971 y Q.2722.1) se

establece pidiendo primero el establecimiento de una conexión entre la raíz y una hoja con indicación de punto a multipunto en el elemento de información de capacidad portadora de banda ancha. Una vez aceptado por la red el establecimiento de esta conexión, se pueden añadir nuevas hojas desde los nodos de ramificación mediante peticiones de incorporación de participante procedentes de la raíz. Una hoja puede ser añadida a, o eliminada de, la llamada en cualquier momento mientras la llamada está en el estado activo. Se señala que la llamada es aceptada si la red acepta la primera conexión, y se libera eliminando todas las hojas.

8.1.1.3 Otros tipos de llamada

Queda en estudio.

8.1.2 Modificación de la conexión

El CS-2.1 de señalización de RDSI-BA puede soportar la petición de un usuario de que se modifique la velocidad de células de cresta de una conexión activa (véase UIT-T Q.2963.1).

En esta Recomendación no se trata el modelado de tráfico de la modificación de la conexión. Este aspecto queda en estudio.

8.2 Tipos de demanda de llamada

Las variables del tráfico de llamadas definen el proceso de llegada de conexiones ATM en la llamada y los tiempos de ocupación de las conexiones. Las demandas de llamada, junto con los atributos de llamada, se clasifican en diversos tipos. La clasificación se hace sólo a efectos de modelado.

1) *Tipo A (una llamada punto a punto con conexiones múltiples simultáneas)*

Una llamada de este tipo pide una o varias conexiones ATM punto a punto entre los mismos nodos de origen y destino simultáneamente a la llegada de la llamada. La llamada es aceptada si las conexiones son aceptadas por la red. La llamada puede ser bloqueada y liberada si cualquiera de las conexiones pedidas es rechazada en el momento de la llegada de la llamada. Una vez establecida una comunicación, no se establecen a continuación conexiones adicionales y todas las conexiones de la llamada permanecen establecidas hasta que la llamada es liberada. Al final de la vida útil de la llamada, todas las conexiones en la misma son liberadas simultáneamente. Este tipo de demanda de llamadas incluye una llamada punto a punto simétrica/asimétrica soportada por el CS-1 de señalización de RDSI-BA. En algunas redes se soporta la negociación de la anchura de banda de una conexión ATM entre el usuario y la red. La negociación de la anchura de banda en este contexto se efectúa en el momento de la llegada de la llamada.

2) *Tipo B (una llamada punto a multipunto)*

Una llamada de este tipo pide el establecimiento de la primera conexión desde el nodo raíz a un nodo hoja e, inmediatamente después de la aceptación de la primera conexión por la red, puede pedir conexiones de árbol adicionales desde los nodos de ramificación a los restantes nodos hoja para formar la conexión de árbol que se desea en la red. La llamada es bloqueada y liberada si la primera conexión es rechazada. La negociación de la anchura de banda sólo se puede efectuar para la primera conexión. Algunas de las adiciones de hojas pueden ser aceptadas y otras rechazadas si no se dispone de recursos suficientes para el establecimiento de todas las nuevas conexiones de árbol pedidas. Como resultado, puede establecerse satisfactoriamente una conexión de árbol desde la raíz a un subconjunto de hojas pretendidas inicialmente. Se supone que no se añaden hojas a, o se eliminan de, la conexión de árbol resultante antes de que termine la vida útil de la llamada. La totalidad de la conexión de árbol se libera al final de la vida útil de la llamada. Se supone que los enlaces de VC/VP de la conexión de árbol, incluida la primera conexión no comparten entre sí ningún grupo de

VPC/módulos de ancho de banda, esto es, como máximo se pide un enlace de VC/VP de la conexión de árbol en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda de la red.

3) *Otros tipos*

La definición de otros tipos de demanda de llamada queda en estudio.

9 Dimensionado de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único

En esta cláusula se presentan los métodos de dimensionado de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único. Considérese un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único al que se ofrecen conexiones ATM por demanda. Un grupo de VPC/módulos de ancho de banda se representa mediante una anchura de banda total. Otros parámetros de capacidad de las VPC/los módulos de ancho de banda del grupo se tienen en cuenta mediante los valores de ECR.

En el caso de un grupo de VPC formado por VPC de velocidad variable, la anchura de banda necesaria del grupo puede ser diferente en cada uno de los conjuntos de enlaces ATM en los que se establece (ya que las ECR de las VCC pueden ser diferentes en cada uno de los conjuntos de enlaces ATM). En este caso, deberá aplicarse independientemente el método descrito en la presente cláusula para el dimensionado de la anchura de banda necesaria en cada conjunto de enlaces ATM en los que se establece el grupo de VPC.

9.1 Modelo para dimensionado

Se supone que llegan peticiones de conexión ATM al grupo de VPC/módulos de ancho de banda. Cada conexión tiene sus propios parámetros de tráfico y requisito de QoS que representan el requisito de recursos de la conexión. Los parámetros de tráfico pueden ser parámetros de STD y/o variables de tráfico de células. Se aplica CAC a cada VPC/módulo de ancho de banda del grupo, y la decisión de aceptar o rechazar se toma para cada nueva conexión que llega. Como se indica en UIT-T E.735, el CAC asigna implícitamente recursos a cada una de las conexiones antes de comprobar si se dispone de suficientes recursos para una nueva conexión. La Recomendación UIT-T E.735 proporciona un concepto general de asignación de recursos por el CAC de manera formal e introduce la noción de ECR.

9.1.1 Uso de la ECR

La noción de ECR es un modo de representar la cantidad de anchura de banda estimada que se ha de asignar a una conexión. Se obtiene la ECR de cada conexión que llega en base a la información disponible sobre la capacidad de la VPC/el módulo de ancho de banda, las características del tráfico de células declaradas y los requisitos de QoS de la nueva petición de conexión, y las características del tráfico de células medidas o declaradas y los requisitos de QoS de las conexiones en curso. La Recomendación UIT-T E.736 da posibles fórmulas para el cálculo de ECR. Se señala que la ECR depende de la capacidad de la VPC (o del enlace en el caso de una VPC de velocidad variable y módulo de ancho de banda) y no de la capacidad del grupo de VPC/módulos de ancho de banda. Si se comprueba que hay capacidad disponible para el establecimiento de una conexión con el valor derivado de ECR, se acepta la conexión en la VPC/el módulo de ancho de banda y, de no ser así, se rechaza y se pierde. Obsérvese que, dependiendo del tipo de procedimiento CAC, se pueden derivar valores diferentes de ECR para cada conexión ATM. La ECR de una conexión derivada mediante un determinado procedimiento CAC puede tomar el mismo valor con independencia de la combinación de tráfico esperada en la VPC/el módulo de ancho de banda. La ECR derivada mediante otro procedimiento CAC puede variar con la combinación de tráfico esperada, pero, para una determinada combinación de tráfico esperada, toma un valor fijo [RMV]. Según otro procedimiento CAC, el valor de ECR para una conexión puede depender del tráfico real. Este último caso no se considera en la presente Recomendación. Además, la precisión requerida de la ECR depende de las

aplicaciones. Con un procedimiento determinado se puede derivar una ECR a efectos de dimensionado únicamente.

9.1.2 Hipótesis

Se supone lo siguiente:

- 1) la combinación de tráfico ofrecida es la misma para todas las VPC/todos los módulos de ancho de banda del grupo de VPC/módulos de ancho de banda;
- 2) se aplica los mismos objetivos de calidad de funcionamiento a nivel de célula a todas las conexiones encaminadas al grupo;
- 3) las ECR de las conexiones que llegan son las mismas para todas las VPC/todos los módulos de ancho de banda del grupo.

A propósito de la hipótesis 3), cuando la ECR de todas las conexiones sea la misma para todas las VPC/todos los módulos de ancho de banda del grupo (por ejemplo, VPC de DBR o velocidad constante no controlada con la misma capacidad, o VPC de velocidad variable llevadas en enlaces de la misma capacidad), no se necesita una aproximación. De no ser así, se puede utilizar un valor ponderado de ECR como una aproximación. Los detalles de la aproximación quedan en estudio.

El CAC de cada VPC/módulo de ancho de banda del grupo se lleva a cabo verificando la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} & \Sigma(\text{ECR de las conexiones de la VPC/del módulo de ancho de banda}) \\ & \quad + \text{ECR de la conexión de llegada} \\ & \leq \text{anchura de banda de} \\ & \quad \text{la VPC/del módulo de ancho de banda} \end{aligned} \tag{9-1}$$

Si la desigualdad es cierta, la conexión de llegada es aceptada por la VPC/el módulo de ancho de banda y, en caso contrario, es rechazada.

Se supone por tanto que la decisión de aceptar y rechazar una conexión en el grupo puede representarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \Sigma(\text{ECR de las conexiones del grupo}) + \text{ECR de la conexión de llegado} \\ & \leq \text{anchura de banda del grupo} \end{aligned} \tag{9-2}$$

Se señala que la conexión se establece en una de las VPC/uno de los módulos de ancho de banda del grupo.

Una conexión que llega puede tener una ECR que es mayor que la anchura de banda libre en cada VPC/módulo de ancho de banda y es al mismo tiempo más pequeña que la totalidad de la anchura de banda libre del grupo. Esta conexión sería rechazada en el sistema real, pero aceptada en cambio por la aproximación propuesta. Se requieren estudios en relación con este problema límite.

9.1.3 Cuantificación de la anchura de banda

La gama de ECR calculadas para conexiones ATM puede ser grande. A efectos de dimensionado, y dependiendo de los métodos, es necesario encontrar una unidad de cuantificación de anchura de banda apropiada (por ejemplo, 64 kbit/s), según sea la combinación de tráfico supuesta. Llamemos e a la unidad de cuantificación de anchura de banda. Para una ECR b de una conexión ATM, la anchura de banda discretizada m , es el entero más pequeño no inferior a b/e . También se puede discretizar una anchura de banda de la VPC/el módulo de ancho de banda o el grupo de VPC/módulos de ancho de banda con la misma unidad de cuantificación e .

Se señala, no obstante, que con la cuantificación se introduce un error en la ECR de las conexiones, y que cuanto mayor sea la unidad de cuantificación mayor es el error. La incidencia del error de cuantificación en el resultado del dimensionado de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda puede atenuarse ajustando los valores de las velocidades de llegadas medias o los tiempos de

ocupación medios de las conexiones para mantener la carga ofrecida media de cada tipo de conexión.

9.1.4 Probabilidad de bloqueo de conexión

El parámetro de calidad de funcionamiento a nivel de conexión que interese a efectos de ingeniería de tráfico es la probabilidad de bloqueo de la conexión. A efectos de dimensionado, se tienen en cuenta los parámetros de calidad de funcionamiento a nivel de célula mediante las ECR de las conexiones.

9.1.5 Controles del tráfico a nivel de conexión

Las probabilidades de bloqueo de las conexiones que comparten el mismo grupo de VPC/módulos de ancho de banda puede variar mucho, dependiendo del tipo de conexión. Esto se debe a que las conexiones quizás requieran cantidades de recursos diferentes en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda y las ECR calculadas pueden tomar valores dentro de una amplia gama. Para conseguir una calidad de funcionamiento apropiada a nivel de conexión del grupo de VPC/módulos de ancho de banda de manera económica, se pueden utilizar controles del tráfico a nivel de conexión tales como la reserva de la anchura de banda en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda, a fin de mejorar las probabilidades de bloqueo.

9.2 Principios del método de dimensionado

La finalidad del dimensionado del grupo de VPC/módulos de ancho de banda descrito más arriba es hallar una anchura de banda óptima del grupo de VPC/módulos de ancho de banda y un correspondiente conjunto óptimo de valores de parámetros de capacidad de las VPC/el módulo de ancho de banda del grupo, que satisfagan unos objetivos determinados de GOS para un tráfico ofrecido supuesto. Como se indica en UIT-T E.735, para el dimensionado del grupo de VPC/módulos de ancho de banda puede utilizarse un procedimiento iterativo, ya que los recursos que se han de asignar a las conexiones dependen tanto de los parámetros de tráfico de las conexiones como de la capacidad del grupo de VPC/módulos de ancho de banda.

Lo que se pretende con el dimensionado del grupo de VPC/módulos de ancho de banda es hallar la cantidad mínima de anchura de banda del grupo que satisface los requisitos de GOS. El procedimiento iterativo básico es como sigue:

Paso 1): Inicialización

Asignar una cantidad apropiada de anchura de banda al grupo de VPC/módulos de ancho de banda. Fijar además los valores de los parámetros de los controles del tráfico a nivel de conexión, tales como la reserva de la anchura de banda, si es necesario.

Paso 2): Evaluación de la ECR

Calcular una ECR para cada tipo de conexión teniendo en cuenta los parámetros de tráfico de las conexiones y los parámetros de capacidad de la VPC/módulo de ancho de banda o, en caso de una VPC de velocidad variable, los parámetros de capacidad de los enlaces. A tal fin, se ha de establecer una hipótesis respecto a la división de la anchura de banda del grupo entre las VPC/los módulos de ancho de banda o, en caso de una VPC de velocidad variable, respecto a las capacidades de los enlaces por los que se llevan las VPC/módulos de ancho de banda.

Paso 3): Evaluación de las probabilidades de bloqueo de conexión

Calcular las probabilidades de bloqueo de conexión de las conexiones del grupo de VPC/módulos de ancho de banda.

Paso 4): Iteración

Modificar la cantidad de anchura de banda y los parámetros de control del tráfico a nivel de conexión y repetir sucesivamente los pasos 2) y 3) hasta que se llegue a una solución óptima.

Por lo que se refiere a la multiplexación de la compartición de velocidad (véase UIT-T E.736), hay definiciones de ECR que son independientes de la anchura de banda del enlace o la VPC (pero que dependen de la capacidad de la memoria tampón), en cuyo caso el valor de ECR no ha de ser actualizado en la iteración anterior. Se señala además que, en el caso de VPC de velocidad variable, la ECR de las VCC depende de la capacidad del enlace y no de la capacidad de la VPC y, por tanto, no es necesario actualizar las ECR en las iteraciones.

9.3 Cálculo de las probabilidades de bloqueo de las conexiones de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda

El cálculo de las probabilidades de bloqueo de las conexiones del grupo de VPC/módulos de ancho de banda se basa en un análisis del espacio de estados del grupo de VPC/módulos de ancho de banda y en el cálculo de las probabilidades en régimen permanente de los estados en los que se rechazan peticiones de conexión.

9.3.1 Dimensionado de un grupo sin control de prioridad de nivel de célula

9.3.1.1 Análisis del espacio de estados

Sea Γ un conjunto de trenes de conexiones diferentes ofrecidos al grupo de VPC/módulos de ancho de banda de que se trate y sea b_k la ECR calculada para la conexión del tren $k \in \Gamma$ en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda. Sea además n_k el número de conexiones del tren k en curso en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda, el estado del grupo de VPC/módulos de ancho de banda se expresa pues mediante el vector $n = (n_k: k \in \Gamma)$. Para un supuesto procedimiento CAC y un esquema de control del tráfico dado a nivel de conexión, es posible especificar un espacio de estados del grupo de VPC/módulos de ancho de banda, indicado por Ω , pero teniendo en cuenta la anchura de banda C del grupo de VPC/módulos de ancho de banda y la ECR b_k de las conexiones, de tal manera que, en cualquier estado n de Ω , los objetivos de GOS a nivel de célula de todas las conexiones del grupo de VPC/módulos de ancho de banda se satisfagan simultáneamente.

Utilizando la velocidad de llegada de llamadas y el tiempo de ocupación medio de cada tren de conexiones, es posible definir las transiciones de estados en el espacio Ω . El empleo de esquemas de control del tráfico a nivel de conexión se refleja en las transiciones de estados de tal modo que las transiciones se limitan o regulan de manera selectiva. Mediante el análisis del espacio de estados obtenido se pueden calcular las probabilidades de los estados y, por tanto, las probabilidades de bloqueo de conexiones de cada uno de los trenes. En algunos casos, las probabilidades de los estados tienen la forma de producto, por ejemplo [KAU], [ROB] y [DZI].

9.3.1.2 Dimensionado con ECR fija

Si la ECR de cada conexión toma un valor fijo positivo para un estado n cualquiera, el espacio de estados Ω del grupo de VPC/módulos de ancho de banda tiene la misma estructura que el modelo de tráfico multiintervalo. Por consiguiente, para calcular las probabilidades de bloqueo de la conexión B_k para el grupo de VPC/módulos de ancho de banda se pueden aplicar los métodos analíticos del modelo de conexiones multiintervalo descrito en UIT-T E.526 y E.731. En [RMV] figuran otros métodos con este mismo objetivo.

En el anexo A se dan los principios de algunos ejemplos de métodos.

9.3.1.3 Dimensionado con CAC adaptativo

Se necesita un estudio ulterior para tratar adecuadamente el caso en que la ECR depende del estado.

9.3.2 Dimensionado de un grupo con un control de prioridad de nivel de célula

Esta cláusula proporciona un método para dimensionar un grupo de VPC/módulos de ancho de banda para el que se aplica un control de prioridad de nivel de célula a la memoria tampón en el nodo en el sentido de transmisión de retorno. El método se basa en la noción ampliada de ECR para el control de la prioridad en el nivel de célula presentado en 10.3.1/E.736.

9.3.2.1 Análisis del espacio de estados

Considérese un grupo de VPC/módulos de ancho de banda con niveles de prioridad P . Sea p el nivel de prioridad, donde $p = 1, 2, \dots, P$, y sea Γ_p un conjunto de trenes de conexiones diferentes en el nivel p . Cuanto menor es el valor de p , tanto más alto es el nivel de prioridad. Sea b_{pk}^j la ECR del tren pk (es decir, del k -ésimo tren en el nivel de prioridad p) visto por una prioridad j , donde $b_{pk}^j = 0$ para $j < p$, y sea n_{pk} el número de conexiones pk de trenes en curso en el grupo. Desde la perspectiva del nivel de la llamada, el estado del grupo se representa por un vector $\mathbf{n} = (n_{pk} : p = 1, 2, \dots, P \text{ y } k \in \Gamma_p)$.

Para una anchura de banda C dada del grupo de VPC/módulos de ancho de banda, es posible especificar un espacio de estados $\Omega(P)$ tal que todas las desigualdades lineales P siguientes son satisfechas:

$$\sum_{p=1}^j \sum_{k \in \Gamma_p} b_{pk}^j n_{pk} \leq C, \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, P. \quad (9-3)$$

Al igual que en 9.3.1.1, utilizando la velocidad de llegada de células y el tiempo medio de retención de cada tren de conexiones, es posible definir transiciones de estado en el espacio $\Omega(P)$. Cuando se utilizan esquemas de control de tráfico del nivel de conexión, estos esquemas se reflejan en las transiciones de estado. Por tanto, analizando el espacio de estados $\Omega(P)$, pueden calcularse las probabilidades de estados y, a partir de éstas, las probabilidades de bloqueo de las conexiones. En algunos casos, las probabilidades de estados tienen la forma de un producto.

9.3.2.2 Dimensionado con una ECR fija

Cuando la ECR toma un valor positivo fijo, para cualquier estado $\mathbf{n} \in \Omega(P)$ como se ha indicado en la cláusula anterior, el espacio de estados puede analizarse como un modelo de tráfico con una característica que presenta múltiples muescas. Las probabilidades de bloqueo pueden calcularse aproximadamente de la manera siguiente. Se da por sentado que las constricciones (fórmula 9-3) pueden aplicarse una a una. Partiendo de esta premisa, se calculan las probabilidades de bloqueo B_{pk}^j de cada tren pk debidas a la constricción en el nivel de prioridad j ($j \geq p$) utilizando el método descrito en 9.3.1.2. Cuando las probabilidades B_{pk}^j son pequeñas, la probabilidad de bloqueo global B_{pk} del tren pk puede aproximarse por la suma:

$$B_{pk} = \sum_j B_{pk}^j.$$

9.3.2.3 Dimensionado con un CAC adaptativo

Queda en estudio.

10 Dimensionado de una red

En esta cláusula se presentan métodos de dimensionado de una red.

10.1 Principios de los métodos de dimensionado de una red

Los elementos de dimensionado de la red se presentan de forma resumida en la cláusula 5. Las variables de diseño consideradas en esta Recomendación son:

- el tamaño de cada conjunto de enlaces: el número de enlaces ATM y la anchura de banda de cada enlace ATM de cada conjunto de enlaces ATM;
- el tamaño de las VPC y los módulos de ancho de banda;
- la asignación de las VPC/módulos de ancho de banda a los grupos de VPC/módulos de ancho de banda;
- la asignación de las VPC y módulos de ancho de banda a los enlaces ATM;
- los parámetros de los controles del tráfico a nivel de llamada y conexión (por ejemplo, el encaminamiento de tráfico y los esquemas de protección del servicio) empleados en la red.

Considérese el caso en que la capacidad de cada enlace, VPC y módulo de ancho de banda de la red se define mediante una cantidad de anchura de banda. En este caso, el objetivo del dimensionado puede ser encontrar la cantidad óptima de anchura de banda de cada uno de ellos junto con una asignación de VPC y módulos de ancho de banda a la red física y evaluación de los parámetros de control del tráfico a nivel de llamada y conexión. Se supone que los esquemas de control del tráfico a nivel de llamada y conexión se seleccionan en la etapa inicial del proceso de dimensionado y permanecen fijos en el modelo de red estudiado.

El problema básico del dimensionado de la red en este contexto se formula como el siguiente problema de optimización no lineal:

Datos: Las matrices de demanda de tráfico y otras hipótesis para construir un modelo de red;

Variables de diseño: Un vector \mathbf{v} cuyos elementos representan cada una de las variables de diseño;

Objetivo: Minimizar $z = z(\mathbf{v})$;

Limitaciones: $B_k \leq \bar{B}_k$, para cada tren de tráfico k de la red;

siendo B_k y \bar{B}_k la probabilidad de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo del tren de tráfico k y su valor objetivo, respectivamente. La función objetivo $z = z(\mathbf{v})$ se elegirá en base a la política del operador de red y a otros factores, por ejemplo, la función puede representar el coste total de la red en algunas aplicaciones, por ejemplo, [MEN]. La función se puede seleccionar de modo que se llegue a una solución que maximice el tráfico total transportado, ponderado por el ingreso unitario tren por tren, por ejemplo, [FAR], [GIR] y [MI2].

En cuanto al proceso de dimensionado de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único expuesto en 9.2, el procedimiento de dimensionado adecuado de la red es un proceso iterativo. Esto se debe sobre todo a que los recursos que se han de asignar a las conexiones dependen de la capacidad de las VPC/módulos de ancho de banda de la red, así como de los parámetros de tráfico de las conexiones. Además, los métodos de optimización iterativos, por ejemplo el método de la máxima pendiente, se utilizan a menudo para resolver problemas de optimización no lineal. Puede haber diverso métodos iterativos aplicables al problema del dimensionado de la red. A continuación se indica el procedimiento básico del proceso de iteración único:

Paso 1): Inicialización

Como solución inicial:

- fijar un número apropiado de enlaces y su anchura de banda entre cada par de nodos apropiado;
- fijar un número adecuado de VPC entre cada par de nodos apropiado y asignar cada enlace VP a los enlaces apropiados de la red física;

- asignar una cantidad de anchura de banda adecuada a cada VPC y módulo de ancho de banda y asignarlos a los grupos de VPC/módulos de ancho de banda;
- fijar también los valores de los parámetros de los controles del tráfico a nivel de llamada y conexión, tales como el encaminamiento de llamada/conexión y la reserva de la anchura de banda, si es necesario.

Paso 2): Evaluación de la ECR

Calcular la ECR para cada conexión en cada llamada de cada grupo de VPC/módulos de ancho de banda a través del cual se puede establecer la conexión, teniendo en cuenta los parámetros de tráfico de las conexiones y los parámetros de capacidad de las VPC/módulos de ancho de banda o, en caso de VPC de velocidad variable, los parámetros de capacidad de los enlaces.

Paso 3): Evaluación de las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones

Calcular las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo para todos los trenes de tráfico de la red.

Paso 4): Iteración

Modificar la cantidad de anchura de banda y los parámetros de los esquemas de control del tráfico a nivel de llamada/conexión y repetir los pasos 2) y 3) hasta alcanzar una solución viable que satisfaga los objetivos de GOS.

En relación con el procedimiento anterior, habrá que tener en cuenta los siguientes extremos:

- 1) Dada la limitación del soporte físico, se puede tomar en consideración la modularidad del trayecto de transmisión en la red física al seleccionar los valores de los parámetros de capacidad de los enlaces en los pasos 1) y 4).
- 2) En los pasos 1) y 4) se debe tener en cuenta la restricción de que la suma de las anchuras de banda de las VPC/módulos de ancho de banda de un enlace no puede superar la capacidad del enlace.

En las publicaciones especializadas se pueden encontrar ejemplos de problemas de optimización específicos y técnicas de optimización, por ejemplo, [FAR], [MEN] y [MI2].

10.2 Principios de los métodos de cálculo del bloqueo de extremo a extremo

10.2.1 Análisis del espacio de estados

El cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo podría basarse en un análisis del espacio de estados de la red. A efectos de cálculo de las probabilidades de bloqueo, normalmente se toma como el estado de la red un vector cada uno de cuyos elementos representa el número de llamadas/conexiones en curso de uno de los trenes de llamadas/conexiones de la red. Por lo general hay diversas maneras de especificar los estados de la red y el espacio de estados, dependiendo de la finalidad de las aplicaciones. Es posible normalmente especificar un espacio de estados y transiciones de estados en el espacio considerando las características de los tipos de demanda de llamadas y los controles del tráfico a nivel de llamada y conexión empleados. Analizando las probabilidades en régimen permanente de la red se pueden calcular las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de cada uno de los trenes del tráfico. En algunos casos, las probabilidades de los estados tienen la forma de producto.

En el caso en que, como ocurre en la RTPC y en la RDSI-BE, todas las llamadas ofrecidas a la red sean simétricas, es decir, que una llamada pida un par de conexiones con la misma anchura de banda y tiempo de ocupación en los sentidos hacia adelante y hacia atrás, y el encaminamiento de las conexiones se lleve a cabo de manera que se establezca un par de conexiones en un par de grupos correspondientes de VPC/módulos de ancho de banda hacia adelante y hacia atrás, no es necesario distinguir entre los sentidos de la transmisión en la red en el proceso de análisis del espacio de

estados. Esta simplificación puede aplicarse también en casos más generales, si procede no distinguir entre los dos sentidos.

10.2.2 Método del punto fijo

a) *Principio*

En general, puede surgir alguna dificultad de cálculo debido a la gran dimensión del espacio de estados de las redes, sobre todo cuando no se disponga de la solución en forma de producto. Esto obliga a recurrir a los métodos de aproximación para el cálculo de las probabilidades de bloqueo de extremo a extremo de las redes. El método del punto fijo (llamado también de aproximación de carga reducida), por ejemplo, [WHI], [KEL], [DZI], [CHU] y [COY] es una técnica fundamental que se utiliza normalmente para el cálculo aproximado de las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo en un proceso de dimensionado de la red.

El principio del método del punto fijo consiste en descomponer la red en sus componentes, analizar cada uno de ellos separadamente y derivar a continuación las medidas de la calidad de funcionamiento deseada de la red a partir de las medidas de la calidad de funcionamiento de los componentes. En los modelos de red tratados en esta Recomendación se considera que un grupo de VPC y un grupo de módulos de ancho de banda son componentes básicos. Si procede, puede elegirse un conjunto de múltiples grupos de VPC/módulos de ancho de banda como componente. El método del punto fijo se basa en las dos hipótesis siguientes:

1) Independencia entre componentes:

Se supone que los componentes de la red son estadísticamente independientes, es decir, que eventos tales como la aceptación de una llamada y una conexión en un componente son estadísticamente independientes de la aceptación de una llamada y una conexión en otro componente de la red.

2) Tráfico ficticio ofrecido a los componentes:

Para evaluar la calidad de funcionamiento de un componente, se supone que se ofrece un tráfico ficticio al componente. Las variables del tráfico ficticio, tales como la velocidad de llegada, se obtienen a partir de las características de tráfico de la hipótesis de tráfico original, de la calidad de funcionamiento de los demás componentes y del encaminamiento del tráfico entre los componentes.

Obsérvese que las características de tráfico de los componentes están relacionadas entre sí a través del tráfico ficticio que se supone los componentes. Así pues, para un vector de medida de la calidad de funcionamiento $\mathbf{u} = (u_j)$, donde u_j representa la medida de la calidad de funcionamiento del componente j , es posible obtener una ecuación del tipo $\mathbf{u} = \mathbf{F}(\mathbf{u})$. Para resolver esta ecuación se utiliza normalmente un procedimiento iterativo y, como resultado del mismo, se pueden calcular las características de tráfico aproximadas de cada componente. Puede haber diversas técnicas alternativas para el cálculo numérico del procedimiento iterativo y pueden tener características de convergencia diferentes. Se señala que la convergencia no está garantizada, pero se obtiene normalmente en los casos prácticos. Los métodos de cálculo numérico y sus características de convergencia quedan fuera del alcance de la presente Recomendación.

b) *Descomposición de la red*

Cuando se emplea el método del punto fijo, es fundamental llegar a una descomposición adecuada de la red en componentes [COY]. La elección de los componentes deberá hacerse teniendo en cuenta que la técnica se basa en la hipótesis de que los componentes elegidos son estadísticamente independientes entre sí. Además, la elección de los componentes repercute en el tiempo de cálculo necesario para evaluar las medidas de la calidad de

funcionamiento deseada. Es práctica normal, por ello, que las descomposiciones se elijan estableciendo un compromiso entre el nivel estimado de precisión y el tiempo de cálculo.

Por ejemplo:

- 1) Si se supone que todos los grupos de VPC/módulos de ancho de banda son independientes entre sí, la red se descompondrá en sus grupos de VPC/módulos de ancho de banda, esto es, cada uno de los grupos de VPC/módulos de ancho de banda se toma como un componente independiente. En el caso de un grupo de VPC formado por varias VPC de velocidad variable, el grupo podría descomponerse más aún en componentes independientes más pequeños, correspondiendo cada uno de ellos al conjunto de enlaces de VP de las VPC del grupo en cada uno de los conjuntos de enlaces ATM en los que se establece el grupo de VPC.
- 2) Si, como ocurre en la RTPC y en la RDSI-BE, los grupos correspondientes de VPC/módulos de ancho de banda hacia adelante y hacia atrás son estadísticamente idénticos, quizá sea suficiente a efectos de dimensionado de la red considerar sólo uno de los sentidos de la transmisión. Si se supone que los grupos de VPC/módulos de ancho de banda en el sentido seleccionado son independientes entre sí, la red se descompondrá en grupos de VPC/módulos de ancho de banda, sin tener en cuenta su sentido de transmisión.
- 3) Los ejemplos de descomposición 1) y 2) se pueden aplicar a una red de manera combinada.

Obsérvese además que, para simplificar el cálculo del bloqueo, un grupo de VPC/módulos de ancho de banda predefinidos desde el punto de vista del encaminamiento del tráfico se puede dividir todavía más en grupos disociados para cada uno de los cuales se considera que son válidas las hipótesis establecidas en 9.1.2. Este procedimiento tiene el inconveniente de suponer que los grupos resultantes son independientes entre sí. La subdivisión de los grupos de VPC/módulos de ancho de banda sólo se hace a efectos de dimensionado de la red.

El método iterativo general indicado en 10.1 se aplica a los tres ejemplos de descomposición anteriores. Si el ejemplo 2) no es procedente, los grupos de VPC/módulos de ancho de banda, tanto para el sentido hacia adelante como para el sentido hacia atrás, se incluyen explícita y separadamente en el iteración. Además, cada ejemplo de descomposición influye en el cálculo de probabilidades de bloqueo del paso 3) del método iterativo. En los ejemplos de descomposición 1) y 2) se prueba cada uno de los grupos de VPC/módulos de ancho de banda para saber la capacidad disponible para las peticiones de conexión que llegan. Los ejemplos de cálculo de bloqueo del anexo A están orientados a este caso.

Las directrices relativas a la descomposición de una red en el marco del método del punto fijo que se han de analizar con más detalle quedan en estudio.

10.3 Cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo A

En esta cláusula se indican los métodos de cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo de llamadas de tipo A, teniendo en cuenta los esquemas de encaminamiento supuestos. Los métodos que aquí se presentan son unos métodos de aproximación basados en la técnica de modelado del punto fijo.

Es evidente que las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo dependen en gran medida de los esquemas de encaminamiento que se utilicen para cada llamada y cada conexión en la llamada. Cuando se pida un par de conexiones hacia y adelante y hacia atrás para una llamada, tal como soporte el CS-1 de señalización de RDSI-BA, las conexiones se establecerán, si se aceptan, a través de un par de VPC/módulos de ancho de banda hacia adelante y hacia atrás con el mismo VPI en cada INI de RDSI-BA, según la regla especificada en UIT-T I.150.

En este caso, por tanto, si cualquiera de las dos conexiones es rechazada en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda de una ruta elegida, ambas conexiones pueden ser reencaminadas a otro par de grupos de VPC/módulos de ancho de banda o rutas hacia adelante y hacia atrás⁴. Así pues, la selección de ruta y VPC/módulo de ancho de banda para conexiones dentro de una llamada puede no ser independiente en algunas redes. Tal dependencia en el encaminamiento de conexiones debería reflejarse al construir un modelo de diseño de la red para el cálculo de probabilidades de bloqueo de extremo a extremo.

Además, como se indica en 10.2, si los grupos de VPC/módulos de ancho de banda en los sentidos hacia adelante y hacia atrás de la transmisión son estadísticamente dependientes, la dependencia deberá reflejarse también en el modelo de diseño de la red.

10.3.1 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con el esquema de encaminamiento de compartición de carga

La cláusula B.1 da un ejemplo de aplicación del método del punto fijo a una red con el esquema de encaminamiento de compartición de carga. En ese ejemplo, se supone que todos los grupos de VPC/módulos de ancho de banda de la red son independientes. El ejemplo puede aplicarse también al caso en el que basta con considerar cualquiera de los dos sentidos de transmisión en la red.

10.3.2 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con esquemas de encaminamiento alternativos

La cláusula B.2 da un ejemplo de aplicación del método del punto fijo a una red con un esquema de encaminamiento alternativo. La Recomendación UIT-T E.170 contiene el principio del encaminamiento alternativo. En el ejemplo se supone que, desde el punto de vista de la ingeniería de tráfico, basta con considerar cualquiera de los grupos de VPC/módulos de ancho de banda hacia adelante y hacia atrás para calcular las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo. Tal es el caso cuando los sentidos hacia adelante y hacia atrás de transmisión en la red son estadísticamente idénticos, como ocurre en la RTPC y en la RDSI-BE.

10.3.3 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con otros esquemas de encaminamiento

Este aspecto queda en estudio.

10.4 Cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo B

En esta cláusula se indican los métodos de cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones de extremo a extremo de las llamadas de tipo B, teniendo en cuenta los esquemas de encaminamiento supuestos. Los métodos que aquí se presentan son métodos de aproximados, dado que se basan en la técnica de modelado del punto fijo.

El encaminamiento de conexiones para una llamada de tipo B puede entrañar:

- 1) el encaminamiento de la primera conexión desde el nodo raíz al primer nodo hoja; y
- 2) el encaminamiento de las conexiones subsiguientes desde el nodo de ramificación a los nodos hojas restantes.

⁴ La señalización de RDSI-BA permite la coordinación del establecimiento de las conexiones hacia adelante y hacia atrás de tal manera que, cuando no se encuentran recursos libres adecuados para una de las dos conexiones en un par elegido de VPC/módulos de ancho de banda hacia adelante y hacia atrás, las conexiones pueden ser reencaminadas a otro par de VPC/módulos de ancho de banda hacia adelante y hacia atrás con el mismo VPI, si está disponible, del grupo o bien a otro par de grupos de VPC/módulos de ancho de banda o rutas hacia adelante y hacia atrás (véase UIT-T Q.2764).

Es evidente que los esquemas de encaminamiento utilizado para las llamadas tienen una importante incidencia en las probabilidades de bloqueo de llamadas y conexiones de extremo a extremo.

10.4.1 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con el esquema de encaminamiento de compartición de carga

El anexo C da un ejemplo en el que se utiliza el método del punto fijo para calcular las probabilidades de bloqueo de llamadas/conexiones en una red en la que el encaminamiento de la conexión de árbol en su totalidad es del tipo compartición de carga. En el ejemplo se supone que los grupos de VPC/módulos de ancho de banda de la red son todos ellos independiente [OD2].

10.4.2 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo en una red con otros esquemas de encaminamiento

Este aspecto queda en estudio.

10.5 Cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con otros tipos de llamada

Queda en estudio.

11 Historial

Esta es la primera versión.

ANEXO A

Ejemplos de métodos de cálculo de probabilidades de bloqueo individual en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda

En este anexo se da un cuadro con los métodos de cálculo de probabilidades de bloque individual en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único y se describen los más importantes. No se ha pretendido que el cuadro contenga la lista exhaustiva de los métodos disponibles.

A.1 Resumen de los métodos

El cuadro A.1 presenta de forma tabulada los métodos que se pueden utilizar para modelar un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único.

Cuadro A.1/E.737 – Métodos de cálculo del bloqueo para un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único

Hipótesis	Métodos
– Entradas distribuidas según Poisson	<ul style="list-style-type: none"> – Solución en forma de producto (solución exacta). – Método Kaufman-Roberts (solución exacta) (véase A.3). – Método tipo Hayward – [LIN], [MEN] (véase A.4). – Aproximación asintótica [MI1], [LAB].
<ul style="list-style-type: none"> – Entradas distribuidas según Poisson – Reserva de la anchura de banda 	<ul style="list-style-type: none"> – Método Kaufman-Roberts [ROB] (véase A.3). – Método tipo Hayward (para el caso de igualdad de bloqueo) [LIN], [MEN] (véase A.4). – Método de aproximación al tráfico denso [RMV].

Cuadro A.1/E.737 – Métodos de cálculo del bloqueo para un grupo de VPC/módulos de ancho de banda único ($\hat{f}in$)

Hipótesis	Métodos
<ul style="list-style-type: none"> – Entradas distribuidas según Poisson – Reserva de la anchura de banda – Negociación de la anchura de banda 	<ul style="list-style-type: none"> – Método Kaufman-Roberts (véase UIT-T E.731) [OD2].
<ul style="list-style-type: none"> – Entradas no distribuidas según Poisson 	<ul style="list-style-type: none"> – Método Erlang (para tráfico compuesto) con transformación [RMV]. – Método Kaufman-Roberts (para congestión temporal) con transformación [RMV]. – Método Delbrouck (para congestión temporal) con transformación a congestión de llamadas [RMV]. – Método tipo Hayward [MEN] (véase A.4).
<ul style="list-style-type: none"> – Entradas no distribuidas según Poisson – Reserva de la anchura de banda 	<ul style="list-style-type: none"> – Método tipo Hayward (para el caso de igualdad de bloqueo) [LIN], [MEN] (véase A.4).

A.2 Notaciones

A lo largo de este anexo se utiliza la siguiente notación:

- N anchura de banda del grupo de VPC/módulos de ancho de banda expresada como un número entero de unidades de anchura de banda;
- k k -ésimo tren de conexiones, donde $k = 1, 2, \dots, K$;
- λ_k velocidad de llegada de conexiones del tren k ;
- μ_k valor inverso del tiempo de ocupación medio de una conexión del tren k ;
- m_k ECR de una conexión del tren k en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda expresada como un número entero de unidades de anchura de banda;
- a_k número medio de conexiones del tren k del sistema ficticio de capacidad infinita, que viene dado por $a_k = \lambda_k / \mu_k$;
- v_k varianza del número de conexiones del tren k en el sistema ficticio de capacidad infinita (con entradas Poisson, $v_k = a_k$);
- z_k factor de irregularidad del tren k , que viene dado por $z_k = v_k / a_k$;
- θ_k parámetro de reserva de la anchura de banda que indica que una conexión del tren k es aceptada solamente si por lo menos $(\theta_k + m_k)$ unidades de anchura de banda del grupo de VPC/módulos de ancho de banda están vacantes cuando llega a conexión, siendo θ_k un entero no negativo;
- B_k probabilidad de bloqueo del tren k ;
- $E(\bullet, \bullet)$ fórmula B de Erlang

A.3 Método Kaufman-Roberts

Considérese un grupo de VPC/módulos de ancho de banda con entradas Poisson y con o sin reserva de la anchura de banda. Este método se basa en la siguiente relación de recurrencia [KAU], [ROB] y [CHU]:

$$ip(i) = \sum_{k=1}^K \frac{\lambda_k m_k \zeta_k (i - m_k)}{\mu_k} p(i - m_k), \quad i=1, 2, \dots, N \quad (\text{A-1})$$

$$\sum_{i=1}^N p(i)=1 \quad (\text{A-2})$$

donde i y $p(i)$ indican el número de unidades de anchura de banda ocupadas y la distribución aproximada de probabilidades de ese número en el grupo de VPC/módulo de ancho de banda, respectivamente. $\zeta_k(i - m_k)$ indica la función de modificación de velocidad que se deriva teniendo en cuenta la reserva de la anchura de banda, y se expresa como sigue:

$$\zeta_k(i - m_k) = \begin{cases} 1 & \text{para } m_k \leq i \leq N - \theta_k \\ 0 & \text{para } N - \theta_k + 1 \leq i \leq N \end{cases}, \text{ para todo } k \quad (\text{A-3})$$

La probabilidad de bloqueo B_k de la conexión del tren k , viene dada por:

$$B_k = \sum_{i=N-\theta_k-m_k+1}^N p(i), \text{ para todo } k \quad (\text{A-4})$$

Este método da una solución exacta que tiene forma de producto cuando no se aplica la reserva de anchura de banda. B_k da una aproximación de la probabilidad de bloqueo individual cuando se aplica la reserva de la anchura de banda.

Se señala que las probabilidades de los estados $p(n)$ de la fórmula A-1 no varían con la velocidad de servicio μ_k en tanto en cuanto la carga de tráfico λ_k / μ_k se mantenga constante, mientras que, en realidad, las probabilidades de bloqueo en una VPC/módulo de ancho de banda dependen de los tiempos de ocupación medios del tráfico ofrecido cuando se aplica la reserva de la anchura de banda [RMV]. En este caso se sugiere la utilización de la siguiente velocidad de servicio ficticia μ en vez de la velocidad de servicio efectiva μ_k :

$$1/\mu = \frac{\sum_{k=1}^K \lambda_k m_k (1/\mu_k)}{\sum_{k=1}^K \lambda_k m_k} \quad (\text{A-5})$$

A.4 Método tipo Hayward

El principio de este método consiste en calcular primero la probabilidad de bloqueo B_0 de un tren de tráfico compuesto ficticio utilizando el método de aproximación tipo Hayward y calcular a continuación las probabilidades de bloqueo individual aproximadas B_k a partir de la probabilidad de bloqueo B_0 .

Para simplificar, se supone que la anchura de banda mínima de conexión es igual a uno.

En el primer paso, se representa el tráfico compuesto por la media a y la varianza v del número de unidades de anchura de banda ocupadas en el sistema ficticio de capacidad infinita, que vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

$$a = \sum_{k=1}^K a_k m_k, \text{ y } v = \sum_{k=1}^K v_k (m_k)^2 \quad (\text{A-6})$$

para calcular la probabilidad de bloqueo B_0 del tráfico compuesto se utiliza la siguiente ecuación:

$$B_0 = E(a/z, (N-z+1)/z) \quad (\text{A-7})$$

donde $z = v/a$. Se señala que B_0 da un valor aproximado de la probabilidad de bloqueo media de los trenes K .

En el segundo paso, las probabilidades de bloqueo individual aproximadas vienen dadas por la siguiente transformación:

$$B_k = B_0(1-B_0) \frac{(N/a)^{m_k z_k / z} - 1}{N/a - 1}, \text{ para todo } k \quad (\text{A-8})$$

Cuando se aplica la reserva de la anchura de banda para igualar las probabilidades de bloqueo individual, las probabilidades de bloqueo aproximadas vienen dadas por:

$$B_k = E(a/z, (N - m_{\text{máx}} + 1)/z), \text{ para todo } k \quad (\text{A-9})$$

donde $m_{\text{máx}}$ indica el valor máximo de anchura de banda de las conexiones.

ANEXO B

Ejemplo de método de cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo A

B.1 Ejemplo con el esquema de encaminamiento de compartición de carga

B.1.1 Modelo de red

Considérese un modelo de red con entrada de llamadas de tipo A y el esquema de encaminamiento de compartición de carga. En este ejemplo existe una correspondencia entre la ruta elegida por una conexión y la ruta elegida por las demás conexiones de la misma llamada. Cuando una llamada consta de múltiples conexiones, la expresión "conjunto de rutas para una llamada" significa una ruta para cada conexión de la llamada. Una elección específica de un "conjunto de rutas para la llamada" equivale a una elección específica de ruta para cada una de las conexiones de la llamada. En particular, la expresión "se elige el q -ésimo conjunto de rutas de una llamada" significa "cada conexión de la llamada elige su q -ésima ruta". Se utilizan las siguientes notaciones:

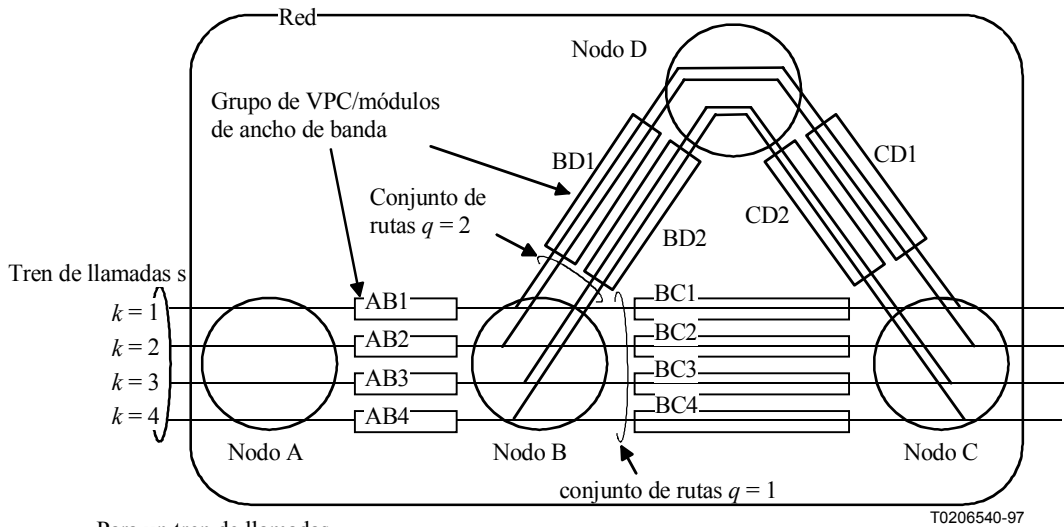
s	s -ésimo tren de llamadas en la red, donde $s = 1, 2, \dots, S$;
k	k -ésima conexión de una llamada del tren s , donde $k = 1, 2, \dots, K_s$;
λ_s	velocidad de llegadas del tren de llamadas s ;
q	q -ésimo conjunto de rutas para una llamada del tren s , donde $q = 1, 2, \dots, Q_s$;
$G(s, q, k)$	el conjunto de grupos de VPC/módulos de ancho de banda incluidos en la ruta q -ésima para la conexión k -ésima del tren de llamadas s ;
$G(s, q)$	el conjunto de todos los grupos de VPC/módulos de ancho de banda incluidos en el conjunto de rutas q para el tren de llamadas s , [es decir, $G(s, q) = \bigcup_{k=1}^{K_s} G(s, q, k)$];
r_{sq}	la probabilidad de que el conjunto de rutas q sea seleccionado para una nueva llamada que llega en el tren s , donde $\sum_{q=1}^{Q_s} r_{sq} = 1$

Se supone que en la red se cumple la siguiente regla de encaminamiento:

- 1) una nueva llamada entrante es encaminada aleatoriamente al conjunto de rutas q con la probabilidad r_{sq} ;
- 2) si cualquier conexión de la llamada es bloqueada en su ruta del conjunto de rutas seleccionado, la llamada se pierde y es liberada.

La figura B.1 da un ejemplo de conjuntos de rutas y el conjunto de grupos de VPC/módulos de ancho de banda $G(s, q, k)$. Se señala que el esquema de encaminamiento incluye un esquema de

encaminamiento fijo como caso especial en el que $r_{sq} = 1$ para uno de los posibles conjuntos de rutas solamente.



Para un tren de llamadas s ,

Selección de grupo VPC/módulos de ancho de banda para conexiones en sus rutas $q = 1$:

Selección de grupo VPC/módulos de ancho de banda para conexiones en sus rutas $q = 2$:

$$G(s, q = 1, k = 1) = \{AB1, BC1\},$$

$$G(s, q = 1, k = 2) = \{AB2, BC2\},$$

$$G(s, q = 1, k = 3) = \{AB3, BC3\},$$

$$G(s, q = 1, k = 4) = \{AB4, BC4\}.$$

$$G(s, q = 1) = \{AB1, AB2, AB3, AB4, BC1, BC2, BC3, BC4\}.$$

$$G(s, q = 1, k = 1) = \{AB1, BC1, CD1\},$$

$$G(s, q = 1, k = 2) = \{AB2, BC1, CD1\},$$

$$G(s, q = 1, k = 3) = \{AB3, BC2, CD2\},$$

$$G(s, q = 1, k = 4) = \{AB4, BC2, CD2\}.$$

$$G(s, q = 2) = \{AB1, AB2, AB3, AB4, BD1, CD1, CD2\}.$$

Figura B.1/E.737 – Ejemplo de conjuntos de rutas para una llamada de tipo A

B.1.2 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo

Si se supone que los grupos de VPC/módulos de ancho de banda de la red son independientes entre sí, la red se puede descomponer en grupos de VPC/módulos de ancho de banda siguiendo el principio establecido en 10.2.2. A continuación se calculan las probabilidades de bloqueo de conexiones en cada grupo de VPC/módulos de ancho de banda suponiendo que las peticiones de conexión ATM en una llamada llegan al grupo de VPC/módulos de ancho de banda con una velocidad de llegada ficticia que es independiente de los demás grupos de VPC/módulos de anchos de banda. Las velocidades de llegadas ficticias se derivan teniendo en cuenta la reducción de velocidad con respecto a la velocidad original debida a los bloqueos de conexiones en los demás grupos de VPC/módulos de ancho de banda.

Cuando más de una conexión en una llamada puedan compartir un grupo de VPC/módulos de ancho de banda, es decir, cuando exista un grupo de VPC/módulos de ancho de banda g tal que $g \in G(s, q, k_1)$ y $g \in G(s, q, k_2)$ para algunas conexiones diferentes k_1 y k_2 en una llamada, quizá sea necesario tener en cuenta la simultaneidad de llegada de esas conexiones k_1 y k_2 en el cálculo de sus probabilidades de bloqueo en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda g . A efectos de cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo, se puede utilizar una conexión ficticia única con la anchura de banda agregada de las conexiones de que se trate (por ejemplo, las conexiones k_1 y k_2 en el caso anterior) en el grupo compartido de VPC/módulos de ancho de banda, como modelo para calcular la probabilidad de disponer de anchura de banda libre suficiente en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda en el momento de la llegada de las conexiones consideradas.

Sea $\omega_{sq}^{(g)}$ la velocidad de llegada ficticia de una conexión o la conexión agregada ficticia de una llamada del tren s en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda $g \in G(s,q)$, donde sólo esta conexión o conexión agregada ficticia de la llamada es encaminada al grupo de VPC/módulos de ancho de banda g para el establecimiento de la llamada. Esta velocidad viene dada por lo siguiente:

$$\omega_{sq}^{(g)} = \lambda_s r_{sq} \frac{\prod_{h \in G(s,q)} (1 - B_{sq}^{(h)})}{1 - B_{sq}^{(g)}}, \text{ para cada } s, q, \text{ y } g \in G(s,q) \quad (\text{B-1})$$

siendo $B_{sq}^{(g)}$ la probabilidad de bloqueo de la conexión ficticia del tren de llamadas s en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda g . En base a esta teoría, se calculan iterativamente las probabilidades de bloqueo de conexiones y las velocidades de llegadas reducidas. Los factores $(1 - B_{sq}^{(h)})$ de la fórmula B-1 son importantes cuando se analiza una red sobrecargada. Al dimensionar, cuando la probabilidad de bloqueo deseada es muy pequeña [digamos, B_{sq} y por tanto uno menos el producto de los factores $(1 - B_{sq}^{(h)})$ es del orden del 1%], los factores $(1 - B_{sq}^{(h)})$ podrían hacerse igual a 1 en una aproximación conservadora⁵. Con esto, la fórmula B-1 pasa a ser como sigue:

$$\omega_{sq}^{(g)} = \lambda_s r_{sq}, \text{ para cada } s, q, \text{ y } g \in G(s,q) \quad (\text{B-2})$$

La utilización de la fórmula B-2 simplificada evita la necesidad de iteraciones entre las probabilidades de bloqueo de conexiones y las velocidades de llegadas ficticias. Para el cálculo de las probabilidades de bloqueo de conexiones $B_{sq}^{(g)}$, se pueden utilizar los métodos indicados en 9.3. Obsérvese que la ECR de una conexión puede variar con los grupos de VPC/módulos de ancho de banda en la ruta para la conexión. Una vez obtenidas las probabilidades de bloqueo de conexiones en cada grupo de VPC/módulos de ancho de banda, se puede calcular la probabilidad de bloqueo de llamadas B_{sq} en el conjunto de rutas q y la probabilidad total de bloqueo de llamada B_s del tren de llamadas s mediante las siguientes ecuaciones:

$$B_{sq} = 1 - \prod_{g \in G(s,q)} (1 - B_{sq}^{(g)}) \quad (\text{B-3})$$

$$B_s = \sum r_{sq} B_{sq} \quad (\text{B-4})$$

La fórmula B-3 se obtiene suponiendo que una llamada de tipo A es aceptada solamente si todas las conexiones en la llamada son aceptadas.

El procedimiento constituido por el método del punto fijo y el análisis del modelo de conexiones multiintervalo se puede utilizar para la red en la que se aplica simultáneamente negociación y reserva de la anchura de banda. Si una conexión es encaminada a una ruta que consta de más de un grupo de VPC/módulos de ancho de banda en tándem, los resultados de la negociación de la anchura de banda en los grupos de VPC/módulos de ancho de banda deben estar armonizados a lo largo de la ruta [OD2].

⁵ Además, los factores $(1 - B_{sq}^{(h)})$ se deben utilizar con precaución cuando una parte de la red esté siendo dimensionada y otra parte de la red esté sobrecargada. Quizás no sea prudente dimensionar un grupo de VPC/módulos de ancho de banda g suponiendo una velocidad de llegada $\omega_{sq}^{(g)}$ reducida debido a la sobrecarga presente de otro grupo de VPC/módulos de ancho de banda h , ya que la sobrecarga del grupo h podría ser eliminada en el futuro.

B.2 Ejemplo con un esquema de encaminamiento alternativo

B.2.1 Modelo de red

Para simplificar, consideremos un modelo de red en el que cada llamada pide solamente un par de conexiones hacia adelante y hacia atrás, y para cada tren de llamadas sólo se puede elegir un grupo de VPC/módulos de ancho de banda en cualquier conjunto de VPC/módulos de ancho de banda, y supongamos, a efectos de cálculo del bloqueo de llamadas, que basta con tener en cuenta cualquiera de los dos sentidos de transmisión en la red. Se utilizan las siguientes notaciones:

- s s -ésimo tren de llamadas, donde $s = 1, 2, \dots, S$;
- q q -ésima ruta para la conexión considerada (es decir, para la conexión en el sentido considerado de la transmisión) de un tren de llamadas s , donde $q = 1, 2, \dots, Q_s$;
- j j -ésimo grupo de VPC/módulos de ancho de banda en la ruta q para el tren s ;
- B_{sqj} probabilidad de bloqueo de llamadas en el j -ésimo grupo de VPC/módulos de ancho de banda en la ruta q para el tren s ;
- RB_{sq} probabilidad de bloqueo de llamadas en la ruta q para el tren s ;
- B_s probabilidad de bloqueo de llamadas de extremo a extremo del tren s .

Por lo que se refiere al encaminamiento de llamadas, se supone que se elige primero un trayecto directo y que se utilizan rutas de dos enlaces (o sea, una concatenación de dos grupos de VPC/módulos de ancho de banda) como rutas alternativas (es decir, $j = 1, 2$). También se supone que los enlaces de las rutas de dos enlaces de un tren de llamadas están disociados, es decir, que ninguna ruta comparte el mismo grupo de VPC/módulos de ancho de banda con ninguna otra ruta. Se supone la siguiente regla de encaminamiento:

- 1) para un tren de llamadas, se especifica una secuencia de rutas;
- 2) una nueva llamada que llega es encaminada a la ruta siguiendo su secuencia de rutas. Cuando la llamada es bloqueada en una ruta, desborda a la ruta siguiente;
- 3) si la llamada es bloqueada en la última ruta de la secuencia, se pierde y es liberada.

B.2.2 Probabilidades de bloqueo de llamadas de extremo a extremo

Si se supone que los grupos de VPC/módulos de ancho de banda son independientes entre sí, la probabilidad de bloqueo de llamadas en una ruta RB_{sq} viene dada aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$RB_{sq} = \begin{cases} B_{sq1}, & \text{para todo } s, q = 1 \\ 1 - \prod_{j=1}^2 (1 - B_{sqj}), & \text{para todo } s, q > 1 \end{cases} \quad (\text{B-5})$$

Caso 1) Para un tren de llamadas con el que no se utiliza el reencaminamiento automático (véase UIT-T E.170) en cada nodo de tránsito, la probabilidad de bloqueo de llamadas de extremo a extremo B_s viene dada aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$B_s = 1 - \sum_{q=1}^{Q_s} (1 - RB_{sq}) \prod_{h=1}^{q-1} B_{sh1}, \text{ para todo } s \quad (\text{B-6})$$

Caso 2) Para un tren de llamadas con el que se utiliza el reencaminamiento automático (véase UIT-T E.170) en todos los nodos de tránsito, la probabilidad de bloqueo de llamadas de extremo a extremo B_s viene dada aproximadamente por la siguiente fórmula:

$$B_s = \prod_{q=1}^{Q_s} RB_{sq}, \text{ para todo } s \quad (\text{B-7})$$

Caso 3) Para un tren de llamadas con el que se utiliza parcialmente el reencaminamiento automático, la probabilidad de bloqueo de llamadas de extremo a extremo B_s se expresa aproximadamente mediante una combinación de los casos anteriores.

Para calcular la probabilidad de bloqueo de llamadas B_{sqj} en un grupo de VPC/módulos de ancho de banda, se utilizará el método del punto fijo con el cálculo de una velocidad de llegada ficticia al grupo de VPC/módulos de ancho de banda para cada tren. La velocidad de llegada ficticia se puede calcular teniendo en cuenta las probabilidades de bloqueo en las rutas precedentes y en los otros grupos de VPC/módulos de ancho de banda de la ruta en la que está incluido el grupo de VPC/módulos de ancho de banda de que se trata. Se pueden utilizar los métodos de 9.3 para calcular las probabilidades de bloqueo de llamadas B_{sqj} .

Hay que tener en cuenta que el tráfico de desbordamiento de una ruta no es poissoniano. Si se deriva la varianza de los trenes de tráfico de desbordamiento, se pueden aplicar los métodos del anexo A que utilizan tanto medias como varianzas de trenes de tráfico para calcular las probabilidades de bloqueo de llamadas de las rutas de desbordamiento en las que entran los trenes de tráfico que desbordan las rutas precedentes. En [OD3] se dispone de un método de cálculo de las varianzas y/o los momentos superiores de los desbordamientos en el modelo de conexiones multiintervalo. Se señala, no obstante, que el cálculo de varianzas y de probabilidades de bloqueo utilizando la información de las varianzas requiere más tiempo de cálculo en el procedimiento de dimensionado de la red. Es preciso un estudio ulterior de los métodos de cálculo adecuados de la varianza de los desbordamientos.

ANEXO C

Ejemplo de método de cálculo de las probabilidades de bloqueo en una red con llamadas de tipo B

C.1 Ejemplo con esquema de encaminamiento de compartición de carga

C.1.1 Modelo de red

Considérese un modelo de red con entrada de llamadas de tipo B. En este ejemplo, una llamada consta de múltiples conexiones por lo que se utiliza el mismo concepto de "conjunto de rutas para una llamada" que se expone en el ejemplo de B.1 para representar una correspondencia entre rutas elegidas por las conexiones de la llamada. Para describir las relaciones del tráfico se utiliza la siguiente notación:

- s s -ésimo tren de llamadas, donde $s = 1, 2, \dots, S$;
- $K(s)$ el conjunto completo de hojas de una llamada del tren s ;
- k k -ésima hoja en $K(s)$, donde $k = 1$ representa la hoja de la primera conexión;
- q q -ésimo conjunto de rutas para una llamada del tren s , donde $q = 1, 2, \dots, Q_s$;
- $F(s,q)$ el conjunto de grupos de VPC/módulos de ancho de banda incluidos en la ruta q -ésima para la primera conexión de llamadas en el tren s ;
- $G(s,q,k)$ el conjunto de grupos de VPC/módulos de ancho de banda incluidos en la q -ésima ruta para la conexión desde un nodo de ramificación a la hoja $k (>1)$ de llamadas en el tren s ;
- r_{sq} la probabilidad de que el conjunto de rutas q sea seleccionado para una nueva llamada que llega en el tren s , donde $\sum_{q=1}^{Q_s} r_{sq} = 1$

Se supone que en la red se cumple la siguiente regla de encaminamiento:

- 1) Una nueva llamada que llega es encaminada aleatoriamente al conjunto de rutas q con la probabilidad r_{sq} .
- 2) Si la primera conexión de una llamada es bloqueada en su ruta del conjunto de rutas seleccionado, la llamada se pierde y es liberada. Si una conexión adicional es bloqueada en su ruta del conjunto de rutas seleccionado, sólo esa conexión se pierde y es liberada.

La figura C.1 da un ejemplo de conjuntos de rutas, $F(s,q)$ (la ruta para la primera conexión) y $G(s,q,k)$ (la ruta para la conexión k -ésima). Se señala que el esquema de encaminamiento incluye un esquema de encaminamiento fijo como caso especial en el que $r_{sq} = 1$ para uno de los posibles conjuntos de rutas solamente.

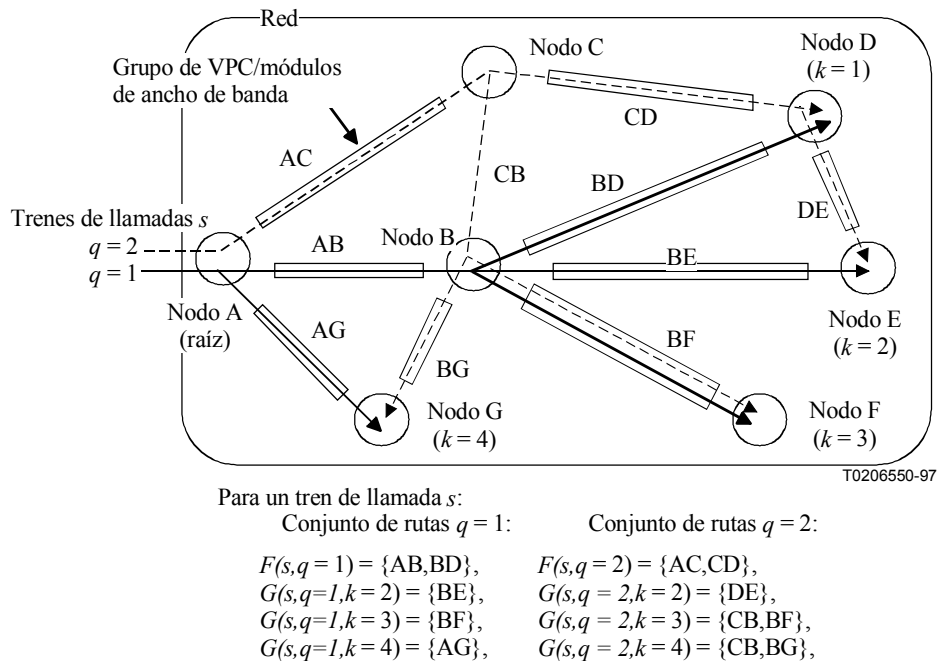


Figura C.1/E.737 – Ejemplo de conjuntos de rutas para un tren de llamadas de tipo B

C.1.2 Probabilidades de bloqueo de llamadas y conexiones de extremo a extremo

Si se supone que los grupos de VPC/módulos de ancho de banda de la red son, todos ellos, independientes entre sí, se puede aplicar el procedimiento de cálculo basado en el método del punto fijo para descomponer la red en los grupos de VPC/módulos de ancho de banda.

Para simplificar, consideremos un caso especial en que todas las rutas desde los nodos de ramificación a las hojas adicionales están disociados, es decir, las conexiones desde los nodos de ramificación a las hojas adicionales no comparten ningún grupo de VPC/módulos de ancho de banda. La probabilidad de bloqueo B_{sq} de la primera conexión puede calcularse mediante el mismo método de aproximación descrito en B.1 [se pueden utilizar en este caso las fórmulas B-1, B-2 y B.3 sustituyendo $G(s,q)$ por $F(s,q)$], y así se obtiene la probabilidad de bloqueo de llamadas del tren s encaminado al conjunto de rutas q . En este caso sencillo, la probabilidad de bloqueo de conexiones B_{sqk} para una hoja adicional $k (>1)$ en un tren de llamadas s encaminado al conjunto de rutas q puede calcularse aproximadamente utilizando la siguiente velocidad de llegada ficticia de la k -ésima conexión adicional al grupo de VPC/módulos de ancho de banda g en $G(s,q,k)$:

$$\omega_{sqk}^{(g)} = \lambda_s r_{sq} (1 - B_{sq}) \frac{\prod_{h \in G(s,q,k)} (1 - B_{sqk}^{(h)})}{1 - B_{sqk}^{(g)}}, \text{ para cada } s, q, k (\neq 1), \text{ y } g \in G(s, q, k) \quad (C-1)$$

donde $B_{sqk}^{(g)}$ indica la probabilidad de bloqueo de conexiones en el grupo de VPC/módulos de ancho de banda g . La nota que figura en B.1.2, cuarto párrafo sobre la necesidad de los factores $(1 - B_{sq}^{(h)})$ en caso de dimensionado con probabilidad de bloqueo deseada baja se aplica aquí a los factores $(1 - B_{sqk}^{(h)})$. Un valor aproximado de la probabilidad de bloqueo de conexión B_{sqk} viene dado por:

$$B_{sqk} = 1 - \prod_{g \in G(s,q,k)} (1 - B_{sqk}^{(g)}) \quad (\text{C-2})$$

APÉNDICE I

Bibliografía

- [CHU] CHUNG (S.P.), KASHPER (A.), ROSS (K.W.): Computing approximate blocking probabilities for large loss networks with state-dependent routing, *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 1, N.º 1, pp. 105-115, febrero de 1993.
- [COY] COYLE (A.J.), HENDERSON (W.), TAYLOR (P.G.): Reduced load approximations for loss networks, *Telecommunications Systems*, vol. 2, N.º 1, pp. 21-50, diciembre de 1993.
- [DZI] DZIONG (Z.), ROBERTS (J.W.): Congestion probabilities in a circuit-switched integrated services network, *Performance Evaluation*, vol. 17, pp. 267-284, 1987.
- [FAR] FARAGO (A.), BLAABJERG (S.), AST (L.), GORDOS (G.), HENK (T.): A new degree of freedom in ATM network dimensioning: optimizing the logical configuration, *IEEE JSAC*, vol. 13, N.º 7, pp. 1199-1206, septiembre de 1995.
- [GIR] GIRARD (A.), LESSARD (N.): Revenue optimization of virtual circuit ATM networks, *Proceedings of 5th Int'l Network Planning Symp.*, Kobe, mayo de 1992.
- [KAU] KAUFMAN (J.S.): Blocking in a shared resource environment, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 29, N.º 10, pp. 1474-1481, octubre de 1981.
- [KEL] KELLY (F.): Blocking probabilities in large circuit-switched networks, *Advances in Applied Probability*, vol. 18, pp. 473-505, 1986.
- [LAB] LABOURDETTE (J.-F.P.), HART (G.W.): Blocking probabilities in multitraffic loss systems: insensitivity, asymptotic behaviour, and approximations, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 40, N.º 8, pp. 1355-1366, agosto de 1992.
- [LIN] LINDBERGER (K.): Some ideas on grade of service and call scale link-by-link dimensioning, *10th Nordic Teletraffic Seminar*, 1992.
- [MEN] MENOZZI (M.), MOCCI (U.), SCOGLIO (C.), TONIETTI (A.): Traffic integration and virtual path optimization in ATM networks, *Proceedings of 6th Int'l Network Planning Symp.*, Budapest, septiembre de 1994.
- [MI1] MITRA (D.), MORRISON (J.A.): Erlang capacity and uniform approximations for shared unduffered resources, *IEEE Trans. on Networking*, vol. 2, N.º 6, pp. 558-570, diciembre de 1994.
- [MI2] MITRA (D.), MORRISON (J.A.), RAMAKRISHNAN (K.G.): Unified approach to multirate ATM network design and optimization, *Proceedings of 9th ITC Specialists Seminar*, pp. 77-94, Leidschendam, noviembre de 1995.
- [OD1] ODA (T.), WATANABE (Y.): Optimal trunk reservation for a group with multislot traffic streams, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 38, N.º 7, pp. 1078-1084, julio de 1990.

- [OD2] ODA (T.), NAKAMURA (H.): A traffic model for networks handling multimedia multi-connection calls, *Proc. of NETWORKS96*, vol. 2, pp. 431-436, Sydney, noviembre de 1996.
- [OD3] ODA (T.): Moment analysis for traffic associated with Markovian queueing system, *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 39, N.º 5, pp. 737-746, mayo de 1991.
- [RMV] ROBERTS (J.W.), MOCCI (U.), VIRTAMO (J.) (Eds.): Broadband network teletraffic, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1155, Springer-Verlag, 1996.
- [ROB] ROBERTS (J.W.): Teletraffic models for the Telecom 1 integrated service network, *Proceedings of 10th ITC*, Paper 1.1.2, Montreal, 1983.
- [WHI] WHITT (W.): Blocking when service is required from several facilities simultaneously, *AT&T Technical Journal*, vol. 64, N.º 8, pp. 1807-1856, octubre de 1985.

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