



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**CCITT**

**E.525 (rev.1)**

COMITÉ CONSULTIVO  
INTERNACIONAL  
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

**RED TELEFÓNICA Y RDSI**

**CALIDAD DE SERVICIO, GESTIÓN  
DE LA RED E INGENIERÍA DE TRÁFICO**

---

**DISEÑO DE REDES PARA CONTROLAR  
EL GRADO DE SERVICIO**

**Recomendación E.525 (rev.1)**

---



Ginebra, 1992

## **PREFACIO**

El CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (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 Plenaria del CCITT, que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiarse y aprueba las Recomendaciones preparadas por sus Comisiones de Estudio. La aprobación de Recomendaciones por los miembros del CCITT entre las Asambleas Plenarias de éste es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 2 del CCITT (Melbourne, 1988).

La Recomendación E.525 ha sido preparada por la Comisión de Estudio II y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 2 el 16 de junio de 1992.

---

## **NOTA DEL CCITT**

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

© UIT 1992

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.

DISEÑO DE REDES PARA CONTROLAR EL GRADO DE SERVICIO

(revisada en 1992)

1 Introducción

El diseño de redes para controlar el grado de servicio puede tener dos objetivos. Uno es el de proporcionar un grado de servicio (GOS, *grade of service*) global para todo el tráfico ofrecido a la red. Esto puede conseguirse mediante la elección de un plan de encaminamiento que reduzca el efecto de las condiciones de red adversas. Los planes de encaminamiento que permiten opciones de encaminamiento más flexibles suelen proporcionar una mayor resiliencia, especialmente en el caso de errores de previsión o de sobrecarga localizada, que los métodos de encaminamiento jerárquico tradicionales.

El segundo objetivo es el de controlar el grado de servicio de ciertos flujos de tráfico restringiendo el acceso a haces de circuitos. Existen varios métodos de protección del servicio, cuya característica común es la de poder rechazar ciertos intentos de llamadas cuando el haz de circuitos en cuestión tiene pocos circuitos en reposo (poca capacidad desocupada). La protección del servicio se utiliza generalmente en redes con encaminamiento alternativo para limitar el tráfico de desbordamiento, aunque puede utilizarse también para dar a una clase de tráfico un servicio prioritario con respecto a otra.

Las condiciones de fallo o de sobrecarga pueden requerir cambios temporales en los parámetros de protección del servicio. Se considera que esta es una acción gestión de red, descrita en las Recomendaciones de la serie E.400.

Las aplicaciones de métodos de protección del servicio se describen en el § 2 y los métodos disponibles en el § 3.

Los conceptos de agrupación y las técnicas de extremo a extremo se describen en el § 4.

La utilización de la protección del servicio se traduce por lo general en una mayor complejidad de los algoritmos de dimensionado. En el § 5 se presentan algoritmos de dimensión adecuados.

La elección entre los métodos disponibles dependerá generalmente de las características de calidad de funcionamiento y de la facilidad de la realización, aspectos que se examinan en los § 6 y 7.

Los planes de encaminamiento flexibles y/o dinámicos pueden considerarse métodos «a nivel de red». Los métodos de protección del servicio pueden considerarse métodos «a nivel de haz de circuitos». Es posible proporcionar métodos en uno de estos niveles solamente, o en ambos niveles, combinados entre sí.

2 Aplicaciones

2.1 Haces de circuitos bidireccionales

En los haces de circuitos bidireccionales, las llamadas de A a B y de B a A en la figura 1/E.525 compartirían el mismo conjunto de circuitos, lo que conduciría a una mayor eficiencia especialmente en los casos de horas cargadas no coincidentes.

En operación bidireccional es necesario tomar disposiciones para proteger el tráfico en un sentido de transmisión contra el comportamiento anormal del tráfico en el otro sentido.

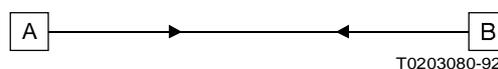


FIGURA 1/E.525

## 2.2 Encaminamiento del tráfico

### 2.2.1 Estrategias de encaminamiento del tráfico de desbordamiento – Principios generales

Las estrategias de encaminamiento en que se emplea desbordamiento tienen a menudo rutas de primera elección (gran utilización) y rutas alternativas indirectas. En condiciones de sobrecarga, la proporción de tráfico encaminado por ruta alternativa aumenta rápidamente, con el consiguiente riesgo de una severa degradación de la calidad de funcionamiento de la red. Deben utilizarse métodos de protección del servicio para impedir el desbordamiento de llamadas de una ruta directa a una ruta alternativa cuando los haces de circuitos de la ruta alternativa se encuentren muy cargados. En la figura 2/E.525, que muestra de manera sencilla un caso jerárquico, las llamadas de A a B tienen una ruta directa de primera elección y una ruta alternativa pasando por D. La central A debe aplicar protección del servicio al haz de circuitos AD, de tal manera que cuando AD esté ocupado por encima de cierto límite, las llamadas de desbordamiento (por ejemplo desde AB) sean rechazadas, lo que implicará que se da prioridad al tráfico de primera elección (por ejemplo de A a C). Este control del grado de servicio permite un dimensionado óptimo (coste mínimo) para las cargas de tráfico planificadas, además de dar protección contra sobrecargas intensas.

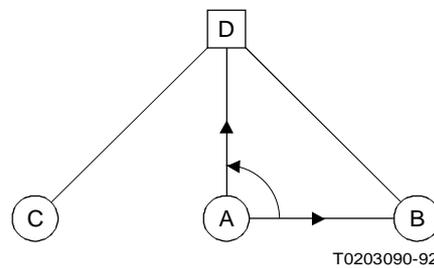


FIGURA 2/E.525

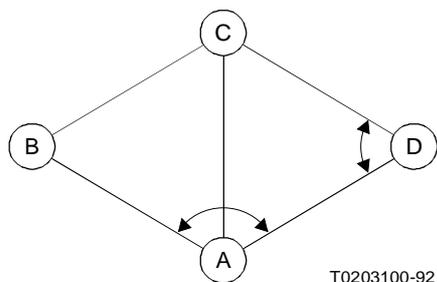
### 2.2.2 Encaminamiento alternativo jerárquico fijo

La figura 2/E.525 ilustra el encaminamiento alternativo jerárquico fijo. En este caso, la central D es una central tándem con un nivel jerárquico superior al de las centrales A, B y C. Las rutas directas de nivel inferior (por ejemplo, la AB) desbordan por la ruta jerárquica (ADB). Esta ruta jerárquica constituye siempre el encaminamiento alternativo final. En dichas redes, es muy conveniente aplicar la protección del servicio para limitar el desbordamiento del tráfico hacia las rutas de última elección.

### 2.2.3 Encaminamiento alternativo no jerárquico fijo

Este término se refiere a las estrategias de encaminamiento basadas en secuencias fijas de rutas alternativas (como en el encaminamiento alternativo jerárquico), pero no tiene una ruta jerárquica de última elección para todo el tráfico de desbordamiento. La figura 3/E.525 puede ilustrar algunos casos sencillos pero habituales. El tráfico de A a B tiene una ruta de primera elección AB y una ruta alternativa ACB, que constituye la ruta final para este tráfico, mientras que el tráfico de A a C puede utilizar la AC como ruta de primera elección y desbordar después hacia ADC. El tráfico de D a B se ofrece primero a la ruta DAB y desborda después a DCB, o viceversa. Este último principio de encaminamiento se denomina normalmente desbordamiento mutuo.

El desbordamiento mutuo puede considerarse un método «a nivel de red» en el sentido siguiente. Si falla el equipo de conmutación en A o el enlace AD, el tráfico DB puede aún completarse a través de C. En esta situación, puede ser necesario proporcionar métodos de protección del servicio a fin de proteger el tráfico de primera elección por los enlaces BC y/o CD contra el aumento del tráfico DB [11].



T0203100-92

FIGURA 3/E.525

En ambos planes de encaminamiento puede percibirse una cierta diferencia entre las clases de equipo de conmutación. Sin embargo, no son jerárquicos en el sentido de que no hay ningún haz de circuitos jerárquicos que sea final para todo el tráfico cursado por él. La aplicación de métodos de protección del servicio puede ser menos simple que para el encaminamiento jerárquico, pero siguen siendo válidos los principios generales del § 2.2.1

#### 2.2.4 Encaminamiento dinámico

Hay muchas formas de encaminamiento dinámico preplanificado o adaptativo, con control centralizado o distribuido (véase la Recomendación E.170). Una característica que es común a la mayoría de los planes de encaminamiento dinámico es la disponibilidad de un número mayor de rutas alternativas potenciales para una conexión determinada. Con este tipo de plan de encaminamiento, la protección del servicio adquiere importancia capital y presenta varias características especiales:

- La protección debe ser mayor que en otros planes de encaminamiento del tráfico de desbordamiento (es decir, deben utilizarse parámetros de protección mayores).
- Si es posible, debe aplicarse la protección del servicio a todos los haces de circuitos de una ruta alternativa. Ello puede requerir un cierto volumen de transferencia de información entre centrales o a un procesador central.
- En relación con el encaminamiento adaptativo, el concepto de protección del servicio puede utilizarse no sólo para bloquear las llamadas de desbordamiento sino también para seleccionar una buena ruta alternativa (esta será normalmente una ruta en la que todos los haces de circuitos tienen como mínimo un número pedido de circuitos libres).

#### 2.3 Servicio de prioridad

Pueden utilizarse también los métodos de protección del servicio para dar servicio de prioridad a un tipo de tráfico, por ejemplo en una red multiservicios como la red digital de servicios integrados (RDSI).

#### 2.4 Estabilidad

Para proporcionar estabilidad en las redes con planes de encaminamiento no jerárquico debe utilizarse la protección del servicio para limitar el tráfico de desbordamiento si dicho tráfico desborda hacia una ruta alternativa compartida con tráfico de primera elección.

### 3 Métodos disponibles

#### 3.1 Haz de circuitos dividido

Una técnica directa consiste en dividir un haz de circuitos en dos subhaces. Se permite el acceso del tráfico prioritario a todo el haz de circuitos, mientras que el tráfico no prioritario (normalmente el de desbordamiento) sólo puede tener acceso a un subhaz. Normalmente, el tráfico prioritario se ofrece en primer lugar al subhaz reservado, que

equivale entonces a un haz separado de gran utilización. En los haces de circuitos bidireccionales, un haz de circuitos se divide en tres subhaces. Un subhaz se utiliza sólo para el tráfico en un sentido, otro para el tráfico en el otro sentido y el tercero para uso común.

### 3.2 *Reserva de circuitos*

Las llamadas no prioritarias sólo son aceptadas en los haces de circuitos considerados cuando el número de circuitos en reposo (desocupados), en ese haz, observados en el momento de la llegada de una llamada no prioritaria rebasa un límite inferior especificado (independientemente de qué circuitos en particular están en reposo). Si el número de circuitos en reposo es inferior o igual al límite especificado, se rechaza cierto porcentaje (que puede ser el 100%) de las llamadas no prioritarias (véase la Recomendación E.412). Las llamadas prioritarias son siempre aceptadas si cualesquiera de los circuitos están en reposo.

La reserva de circuitos puede también aplicarse selectivamente, para limitar los intentos de llamada a destinos difíciles de alcanzar. En los haces de circuitos bidireccionales, el grado de servicio (GOS) del tráfico en un sentido puede degradarse debido al aumento del tráfico en el otro sentido. Para resolver este problema se puede aplicar condicionalmente la reserva de circuitos para limitar el tráfico que ha aumentado. La condición puede ser el número de llamadas en curso para el flujo de tráfico aumentado.

### 3.3 *Circuitos virtuales*

Este método limita el número de circuitos para cada clase de tráfico. A una llamada perteneciente a cierta clase se le da un circuito en reposo siempre que el número de circuitos ocupados por esta clase de llamada sea menor que un valor predefinido.

## 4 **Objetivos de diseño de red**

### 4.1 *Concepto de técnica de agrupación*

En encaminamiento alternativo jerárquico, una agrupación consiste en un haz de circuitos de última elección junto con los haces de gran utilización desde los cuales el tráfico desborda hacia el haz final. Esta agrupación debe diseñarse como un todo. Esto implica en primer lugar que deben aplicarse criterios de GOS a la totalidad de la agrupación y no separadamente a haces finales. En segundo lugar, habrá que considerar la cuestión del dimensionamiento para condiciones de alta carga de la totalidad de la agrupación. A fin de satisfacer los criterios de GOS para las agrupaciones de carga normal y de carga elevada de la manera más eficaz, los parámetros de los métodos de protección del servicio deberán determinarse adecuadamente como una parte del proceso de dimensionado.

### 4.2 *Técnicas de extremo a extremo*

En el encaminamiento no jerárquico deberán aplicarse criterios de GOS a todas las rutas que puedan utilizarse para lograr la conexión de extremo a extremo. Para satisfacer los criterios de GOS de extremo a extremo con carga normal y con carga elevada de la manera más eficaz, los parámetros de los métodos de protección del servicio deberán determinarse adecuadamente como parte del proceso de dimensionado.

## 5 **Evaluación y dimensionado**

### 5.1 *División de haces de circuitos*

En el encaminamiento alternativo jerárquico, la división del haz final de circuitos produce un haz de gran utilización, separado, para el tráfico de primera elección. Este haz debe dimensionarse de forma que cumpla los criterios de GOS de la agrupación. Entre los métodos de evaluación normalizados que pueden utilizarse figura la teoría del tráfico aleatorio equivalente de Wilkinson [1]. Pueden utilizarse métodos de proceso de Poisson interrumpido para lograr una evaluación más precisa [2], [3] y para evaluar la calidad de funcionamiento de la red [4].

La división de haces de circuitos permite controlar el GOS en el encaminamiento no jerárquico. El dimensionado y la evaluación concretos dependen de cada situación y normalmente es más práctico utilizar métodos de análisis de un momento [5], [6].

## 5.2 *Reserva de circuitos*

En el caso de la reserva de circuitos con encaminamiento alternativo jerárquico los parámetros deben aplicarse al haz final de tal modo que los criterios de GOS de la agrupación se obtengan en forma óptima para todo el tráfico ofrecido a la agrupación. Para la evaluación de los flujos de Poisson existe un método recurrente que puede ser extendido, usando técnicas de tráfico aleatorio equivalente, en situaciones de desbordamiento [7]. Pueden utilizarse métodos de proceso de Poisson interrumpido [3] para obtener una aproximación más precisa y evaluar la calidad de funcionamiento de la red [8]. Existen métodos analíticos para flujos de tráfico con diferentes valores de tiempo de retención, curtosis (factor de irregularidad) y velocidades binarias [12].

Para estrategias no jerárquicas se recomiendan también los métodos de evaluación de un momento. Existen fórmulas recurrentes simples para los haces de circuitos que utilizan reserva de circuitos y a los que se ofrecen tráficos de Poisson. Los métodos basados en un momento [7] pueden también ampliarse para que den una mayor precisión al tener en cuenta el bloqueo en el sentido hacia el destino y las correlaciones de tráfico [6] y [8].

## 5.3 *Circuitos virtuales*

Existen métodos de evaluación analíticos para circuitos virtuales [12].

# 6 **Características de calidad de funcionamiento**

## 6.1 *Eficiencia*

La eficiencia puede medirse por la capacidad de tráfico requerida para transportar un erlang de tráfico en condiciones de carga normal satisfaciendo los criterios de GOS. A este respecto no existe una gran diferencia entre los métodos de reserva de circuitos, de división de los haces de circuitos, y de circuitos virtuales, siempre que haya un dimensionado correcto en cada caso.

## 6.2 *Protección contra sobrecargas*

Los dos métodos de protección del servicio, reserva de circuitos y división del haz final de circuitos con un haz de gran utilización reservado ofrecen una protección contra sobrecargas para el tráfico de primera y última elección en los casos de sobrecarga general y de desbordamiento considerablemente mejor que los métodos menos usuales de división del haz final de circuitos con un haz de última elección reservado y el de circuitos virtuales. Además, la reserva de circuitos supera a la división del haz de circuitos de última elección con un haz reservado de gran utilización en una amplia variedad de condiciones de sobrecarga tales como tráfico prioritario excesivo, tráfico no prioritario excesivo o sobrecarga uniforme en ambos flujos de tráfico.

## 6.3 *Robustez*

Una ventaja apreciable de la reserva de circuitos es que proporciona un robusto perfil de calidad de funcionamiento con respecto a las variaciones de la carga de tráfico (tráfico prioritario decreciente en combinación con tráfico no prioritario creciente) y las fijaciones de parámetros de reserva. Independientemente del tamaño del haz de circuitos, las variaciones del tráfico (que no han sido previstas) se cursan relativamente bien.

Con la reserva de circuitos, es probable que los mismos valores de parámetros sean óptimos para una amplia gama de configuraciones en condiciones de carga normal y de sobrecarga.

En cambio, la sección reservada de un haz de circuitos dividido y los valores de los parámetros del método de los circuitos virtuales deben redimensionarse para diferentes configuraciones y (cuando se han dimensionado de acuerdo con el plan de carga de tráfico normal) no darán valores óptimos en condiciones de sobrecarga.

## 6.4 *Curtosis*

Las variaciones de la curtosis (factor de irregularidad) del tráfico de desbordamiento tienen una repercusión ligeramente mayor sobre las probabilidades de bloqueo dentro de las configuraciones de haces de circuitos divididos en comparación con la reserva de circuitos.

La repercusión de las variaciones de la curtosis del tráfico de desbordamiento sobre las probabilidades de bloqueo en el método de los circuitos virtuales se estudiará ulteriormente.

## 7 Consecuencias en la realización

### 7.1 Métodos de dimensionado

Existen métodos para el cálculo de circuitos virtuales, un haz de circuitos dividido o un parámetro de reserva de circuitos por ejemplo [7], [8], [9], [10] y [12].

### 7.2 Medidas de tráfico

Todos los métodos de protección del servicio requieren la estimación del tráfico que hay que proteger y la de todas las otras porciones de tráfico en cuestión.

Para una aplicación eficaz de los métodos de protección del servicio pueden requerirse mediciones de tráfico que no se limiten a dar simples datos de haces de circuitos.

Con el método del haz de circuitos dividido, el tráfico encaminado por rutas de primera elección puede medirse fácilmente haz por haz. El método de reserva de circuitos requiere medidas distintas a las tradicionales para identificar el tráfico ofrecido de primera elección.

### 7.3 Aspectos operacionales

Como la reserva de circuitos y los circuitos virtuales son técnicas controladas por soporte lógico (*software*), la protección de los diferentes flujos de tráfico puede variarse fácilmente cambiando los parámetros en dicho soporte. Esto permite efectuar cambios temporales bajo el control de gestión de red. Deben tomarse precauciones en tales situaciones para restablecer los valores de los parámetros de diseño.

### 7.4 Requisitos tecnológicos

Los métodos del haz de circuitos dividido pueden aplicarse en las centrales electromecánicas y en las centrales controladas por procesador.

En la práctica, la reserva de circuitos y los circuitos virtuales únicamente pueden ser realizados en soporte lógico como una facilidad condicional de desbordamiento y, por tanto, sólo pueden instalarse en centrales con control por programa almacenado (SPC, *stored program controlled*).

Estos métodos requieren que la central tenga la capacidad de distinguir entre tráficos prioritarios y no prioritarios.

## Referencias

- [1] WILKINSON (R.I.): Theories for toll traffic engineering in the USA. *Bell System Technical Journal*, Vol. 35, marzo de 1956.
- [2] MATSUMOTO (J.), WATANABE (Y.): Analysis of individual traffic characteristics for queueing systems with multiple Poisson and overflow inputs. *Proc. 10th ITC*, paper 5.3.1, Montreal, 1983.
- [3] KUCZURA (A.): The interrupted Poisson process as an overflow processor. *Bell System Technical Journal*, Vol. 52, N.º 3, 1973.
- [4] MANSFIELD (D.R.), DOWNS (T.): A moment method for the analysis of telephone traffic networks by decomposition. *Proc. 9th ITC*, paper 2.4.4, Torremolinos, 1979.
- [5] MANSFIELD (D.R.), DOWNS (T.): On the one-moment analysis of telephone traffic networks. *IEEE Trans. Comm.*, 27, pp. 1169-1174, 1979.
- [6] LE GALL (F.), BERNUSSOU (J.): An analytical formulation for grade-of-service determination in telephone networks. *IEEE Trans. Comm.*, 31, pp. 420-424, 1983.
- [7] COOPER (R.B.): Introduction to Queueing Theory, *North Holland*, 1977.
- [8] SONGHURST (D.J.): Protection against traffic overload in hierarchical networks employing alternative routing. *Proc. Telecommunication Network Planning Symposium*, pp. 214-220, París, 1980.
- [9] LEBOURGES (M.), PASSERON (A.): Contribution to a network sizing procedure using probability distributions of traffic data, *Networks '86*, Tarpon Springs, 1986.

- [10] LINDBERGER (K.): Simple approximations of overflow system quantities for additional demands in the optimization. *Proc. 10th ITC*, Montreal, 1983.
- [11] FOSSETT (L.D.), LIOTINE (M.): The traffic engineering benefits of flexible routing in international networks. Network Planning in the 1990's. *Proceedings of the Fourth International Network Planning Symposium*, Palma de Mallorca, España, 17-22 de septiembre de 1989, Luis Lada, Editor, North-Holland, pp. 325-331.
- [12] CHANDRAMOHAN (J.): An analytic multiservice performance model for a digital link with a wide class of bandwidth reservation strategies. *IEEE JSAC*, Vol. 9, No. 2, febrero de 1991.