



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

E.501 (rev.1)

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

**RED TELEFÓNICA Y RDSI
CALIDAD DE SERVICIO, GESTIÓN
DE LA RED E INGENIERÍA DE TRÁFICO**

**ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO
OFRECIDO EN LA RED**

Recomendación E.501 (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.501 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 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.

ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO OFRECIDO EN LA RED

(revisada en 1992)

1 Introducción

Para planificar el desarrollo de la red deben estimarse las siguientes magnitudes a partir de medidas efectuadas:

- tráfico ofrecido a haces de circuitos;
- tráfico ofrecido a destinos por origen-destino;
- tráfico ofrecido a centrales;
- intentos (tentativas) de llamada ofrecidos a centrales;
- tráfico ofrecido a enlaces de señalización.

Estas magnitudes se estiman normalmente a partir de medidas de tráfico cursado y los intentos de llamada en la hora cargada, pero hay varios factores que quizás haya que tener en cuenta en los procedimientos de medida y estimación:

- a) Puede ser necesario subdividir las medidas por ejemplo según el destino, o el tipo de llamada (por ejemplo, llamadas que utilizan sistemas de señalización diferentes).
- b) Puede no ser posible obtener un registro completo del tráfico cursado. Por ejemplo, en una red con haces de gran utilización y haces finales puede ser imposible medir el tráfico que desborda desde cada haz de gran utilización.
- c) Las medidas pueden resultar afectadas por la congestión. En general, ésta producirá una disminución del tráfico cursado, pero en ello pueden influir los reintentos de los usuarios y las acciones (por ejemplo, reintentos automáticos) de otros componentes de la red.
- d) Cuando persisten niveles elevados de congestión durante un periodo prolongado (muchos días) es posible que algunos usuarios eviten efectuar llamadas durante el periodo congestionado de cada día. Esta reducción aparente del tráfico ofrecido se denomina tráfico suprimido, y debe tenerse en cuenta en la planificación pues el tráfico ofrecido aumentará cuando se amplíen los equipos. Hasta el presente no se han definido algoritmos adecuados para estimar el tráfico suprimido.

Cabe distinguir tres situaciones:

- i) Congestión antes del punto de medidas. Esta congestión no es observable directamente.
- ii) Congestión debida al equipo medido. Para detectarla deben efectuarse medidas de la congestión.
- iii) Congestión después del punto de medidas. A menudo, esta congestión puede detectarse a partir de medidas del tráfico ineficaz o de la tasa de compleción (relación respuesta/forma). Obsérvese que, cuando los haces son bidireccionales, la congestión que existe en otras partes de la red puede estar tanto antes como después del punto de medidas para diferentes porciones de tráfico.

Quando la congestión se debe al equipo medido, debe tenerse debidamente en cuenta en la estimación del tráfico ofrecido que se utiliza para planificar la ampliación de los equipos medidos.

Quando la congestión se produce en otra parte de la red, el planificador tiene que determinar si dicha congestión continuará durante el periodo de planificación considerado. Esto puede ser difícil, si no tiene control de los equipos congestionados.

En esta Recomendación se presentan procedimientos de estimación aplicables a dos de las situaciones descritas anteriormente. Los § 2 y 3 se refieren a la determinación del tráfico ofrecido a un haz de circuitos, el § 2 trata de la estimación del tráfico ofrecido a un haz de circuitos monorruta plenamente operacional que puede estar afectado por una congestión importante, y el § 3 trata de una configuración con haces de gran utilización y haces finales sin congestión importante. El § 4 proporciona un procedimiento para determinar el tráfico ofrecido a destinos por origen-destino, cuando sólo se dispone de medidas de la intensidad de tráfico en haces de circuitos, y cuando se dispone también de medidas directas del tráfico ofrecido por origen-destino.

En el § 4 el tráfico ofrecido estimado es el «tráfico ofrecido equivalente» utilizado en el modelo de llamadas perdidas del anexo B, mientras que en los § 2 y 3 se tienen en cuenta, en la evaluación del tráfico ofrecido, los reintentos del usuario.

Estos procedimientos de estimación deben aplicarse a las distintas medidas efectuadas en la hora cargada. Seguidamente, las estimaciones resultantes del tráfico ofrecido en cada hora obtenidas deben acumularse de acuerdo con los procedimientos descritos en la Recomendación E.500.

2 Haz de circuitos monorruta

2.1 Situaciones sin congestión importante

El tráfico ofrecido será igual al tráfico cursado medido de acuerdo con la Recomendación E.500. No es necesario efectuar una estimación.

2.2 Situaciones con congestión importante

Sea A_c el tráfico cursado por el haz de circuitos. Si se supone que la ampliación del haz de circuitos no influirá en el tiempo medio de retención de las llamadas cursadas o en la tasa de compleción de las llamadas cursadas, el tráfico ofrecido al haz de circuitos puede expresarse por la fórmula

$$A = A_c \frac{(1 - WB)}{(1 - B)}$$

donde B es la probabilidad medida actual de pérdida para todos los intentos de llamada al haz de circuitos considerado y W es un parámetro que representa el efecto de las repeticiones de llamadas. En el anexo A se presentan modelos para W .

Para facilitar la determinación rápida del tráfico ofrecido de conformidad con el procedimiento aproximado del anexo A se ha preparado el cuadro A-1/E.501 que contiene valores numéricos del factor $(1 - WB)/(1 - B)$ para una amplia gama de valores de B , H y r' (véanse los significados de H y r' en el anexo A). Para la utilización del cuadro A-1/E.501, consúltese la nota 2 del anexo A.

Nota 1 – En el anexo A se explica el modo en que se ha obtenido esta relación y se describe asimismo un modelo más complejo que puede ser útil cuando se dispone de medidas de las tasas de compleción.

Nota 2 – Cuando no se dispone de medidas de las tasas de compleción puede elegirse un valor W comprendido entre 0,6 y 0,9. Adviértase que un valor menor de W corresponde a una estimación mayor del tráfico ofrecido. Se invita a las Administraciones a comunicarse mutuamente los valores de W que tienen el propósito de utilizar.

Nota 3 – Conviene que las Administraciones lleven registros de los datos recopilados antes y después de la ampliación de los haces de circuitos. Estos datos permitirán comprobar la validez de la fórmula indicada, así como la validez del valor del W utilizado.

Nota 4 – Para aplicar esta fórmula, por lo general se supone que el haz de circuitos está en condiciones operacionales normales, o que, de haber circuitos defectuosos, han sido retirados del servicio. Si los circuitos que funcionen correctamente tienen asociados circuitos defectuosos, o equipos de transmisión o señalización defectuosos, la fórmula podría dar resultados incorrectos.

3 Configuración de red con haz de gran utilización y haz final

3.1 Haz de gran utilización con congestión poco importante en el haz final

3.1.1 Cuando se emplea para una relación una configuración con haz de gran utilización y haz final, es menester efectuar medidas simultáneas en ambos haces de circuitos.

Sea A_H el tráfico cursado por el haz de gran utilización y A_F el tráfico que desborda de este haz de gran utilización y se cursa por el haz final. Sin congestión importante en el haz final, el tráfico ofrecido al haz de gran utilización será:

$$A = A_H + A_F$$

3.1.2 Se recomiendan dos tipos distintos de procedimientos, cada uno de los cuales comprende varios métodos posibles. El método indicado en el apartado a) del § 3.1.2.1 es el preferido por ser el más exacto, aunque pueda ser también el más difícil. Los métodos expuestos en el § 3.1.2.2 pueden utilizarse como estimaciones adicionales.

3.1.2.1 Se efectúan medidas simultáneas de A_H y del tráfico total cursado por el haz final. Se indican seguidamente tres modos para estimar A_F , en orden decreciente de preferencia:

- a) A_F se mide directamente. En la mayoría de los casos esto puede hacerse midiendo el tráfico cursado por el haz final para cada destino.
- b) El tráfico total cursado por el haz final se descompone por destino proporcionalmente al número de llamadas eficaces para cada destino.
- c) El tráfico cursado por el haz final se descompone conforme a las razones entre los intentos de toma procedentes de los haces de gran utilización y el número total de intentos de toma del haz final.

3.1.2.2 Se indican dos métodos posibles de estimación del tráfico ofrecido al haz de gran utilización, que en este caso es igual al tráfico ofrecido equivalente:

- a) El valor de A se estima a partir de la relación

$$A_H = A [1 - E_N(A)]$$

donde $E_N(A)$ es el valor obtenido por la fórmula de llamadas perdidas de Erlang, y N es el número de circuitos en servicio del haz de gran utilización. La estimación puede hacerse mediante un programa iterativo de computador o manualmente utilizando tablas o gráficos.

La precisión de este método puede resultar afectada por la no aleatoriedad del tráfico ofrecido, la variación de la intensidad durante el periodo de medidas o el uso de un valor incorrecto de N .

- b) El valor de A se estima mediante la fórmula

$$A = A_H / (1 - B)$$

donde B es la probabilidad de desbordamiento medida, la precisión de este método puede resultar afectada por la presencia de reintentos de toma generados por la central, si éstos se incluyen en el registro de intentos de toma de haz de circuitos.

Se recomienda aplicar los dos métodos indicados en los apartados a) y b); toda discrepancia apreciable exigirá ulterior investigación. Ha de señalarse, no obstante, que ambos métodos pueden dejar de ser fiables en el caso de haces de gran utilización con una alta probabilidad de desbordamiento: en una situación tal puede necesitarse un periodo de medidas mayor para obtener resultados fiables.

3.2 *Haz de gran utilización con congestión importante en el haz final*

En este caso, la estimación del tráfico ofrecido requiere una combinación de los métodos indicados en los § 2.2 y 3.1. Antes de que pueda recomendarse un procedimiento detallado, han de proseguirse los estudios a fin de llegar a una comprensión suficiente de los diferentes parámetros.

4 **Tráfico ofrecido equivalente por origen-destino**

En este punto se trata la determinación del modelo de tráfico equivalente con arreglo al modelo descrito en el anexo B.

Una estimación precisa del tráfico ofrecido por origen-destino es esencial para diseñar, construir y dar servicio a cualquier red de comunicaciones. Esto es especialmente cierto, aunque no exclusivamente, en el caso de las redes con encaminamiento dinámico.

La precisión de esta estimación depende de la disponibilidad de medidas efectuadas y de la estructura de la red.

En realidad, deben distinguirse tres situaciones:

- i) el tráfico ofrecido por origen-destino puede ser medido directamente por los equipos de conmutación de la red;
- ii) sólo se dispone de medidas del tráfico por origen-destino por muestras;
- iii) no se dispone de medidas de tráfico por origen-destino.

4.1 *Determinación del tráfico ofrecido por origen-destino cuando se dispone de medidas de tráfico origen-destino para todos los intentos de llamada*

En este caso, el problema de determinar el tráfico ofrecido por origen-destino se resuelve directamente por las medidas que se especifican en el § 4.2.4 de la Recomendación E.502 y no son necesarios más cálculos.

4.2 *Determinación del tráfico ofrecido por origen-destino cuando sólo se dispone de medidas del tráfico por origen-destino obtenidas por muestreo*

Estas medidas deben ser soportadas por medidas coherentes del volumen de tráfico en (erlangs) en la totalidad del tráfico de salida. De forma más precisa, si el conjunto de medidas del tráfico por origen-destino, que se especifican en el § 4.2.4 de la Recomendación E.502 (tipo 15: «Dispersión del tráfico»), es un muestreo del tráfico total de salida de la central, las medidas pertinentes del volumen de tráfico deben ser las medidas globales del tráfico de salida de origen y del tráfico de tránsito (tipo 3 y tipo 6 respectivamente de la misma Recomendación). Si «la dispersión del tráfico» se lleva a cabo en un haz de circuitos específico, es evidente que las medidas pertinentes del volumen de tráfico deben realizarse en el mismo haz de circuitos (medida del tipo 10). La determinación del tráfico ofrecido a partir de medidas del tráfico cursado debe realizarse utilizando el procedimiento descrito en el § 2 de la presente Recomendación.

4.3 *Determinación del tráfico ofrecido por origen-destino cuando sólo se dispone de medidas de intensidad de tráfico basadas en haces de circuitos*

Este punto se refiere a los equipos de conmutación que no realizan medidas de tráfico por origen-destino, sino únicamente medidas de la intensidad de tráfico basadas en haces de circuitos. El siguiente método [1] puede aplicarse a redes jerárquicas y no jerárquicas cuyo plan de encaminamiento puede ser fijo o actualizado periódicamente con un periodo T .

Se parte de los dos supuestos siguientes:

- i) en cada enlace, llamadas procedentes de diferentes relaciones de tráfico experimentan el mismo bloqueo, que es el bloqueo del haz de circuitos medido en cuestión;
- ii) si una llamada es encaminada por un trayecto de dos enlaces, el que esta llamada sea bloqueada en un enlace es independiente del que sea bloqueada en el otro enlace.

Estudios de simulación han demostrado que estos supuestos producen estimaciones de tráfico ofrecido para cada par origen-destino que son del orden del 6 al 7% de los valores reales.

Se supone que en cada intervalo de tiempo se dispone de la siguiente información:

- i) las medidas en los haces de circuitos, que incluyen la carga cursada y el bloqueo en cada haz de circuitos;
- ii) la secuencia de encaminamiento (fija) durante el periodo δT .

Partiendo de los supuestos mencionados, se puede demostrar que se cumple la siguiente ecuación:

$$CL = Z \cdot a \quad (1)$$

donde CL es un vector cuyos elementos están constituidos por el tráfico cursado por cada haz de circuitos, a es un vector cuyos elementos son el tráfico ofrecido por origen-destino, y Z es una matriz cuyos elementos están definidos por el bloqueo en cada haz de circuitos y la secuencia de encaminamiento.

El tráfico ofrecido por origen-destino, a , se puede obtener resolviendo de la ecuación (1).

En el anexo C se describen la notación utilizada, así como la derivación y solución de la ecuación (1). En el anexo D figuran dos ejemplos ilustrativos.

ANEXO A

(a la Recomendación E.501)

Modelo simplificado para la fórmula presentada en el § 2.2

Los intentos de llamada que llegan al haz de circuitos considerado pueden clasificarse como se muestra en la figura A-1/E.501:

La tasa total de intentos de llamada para el haz de circuitos es

$$N = N_0 + N_{NR} + N_{LR}$$

Debemos considerar $N_0 + N_{NR}$, que sería la tasa de intentos de llamada si no hubiera congestión en el haz de circuitos.

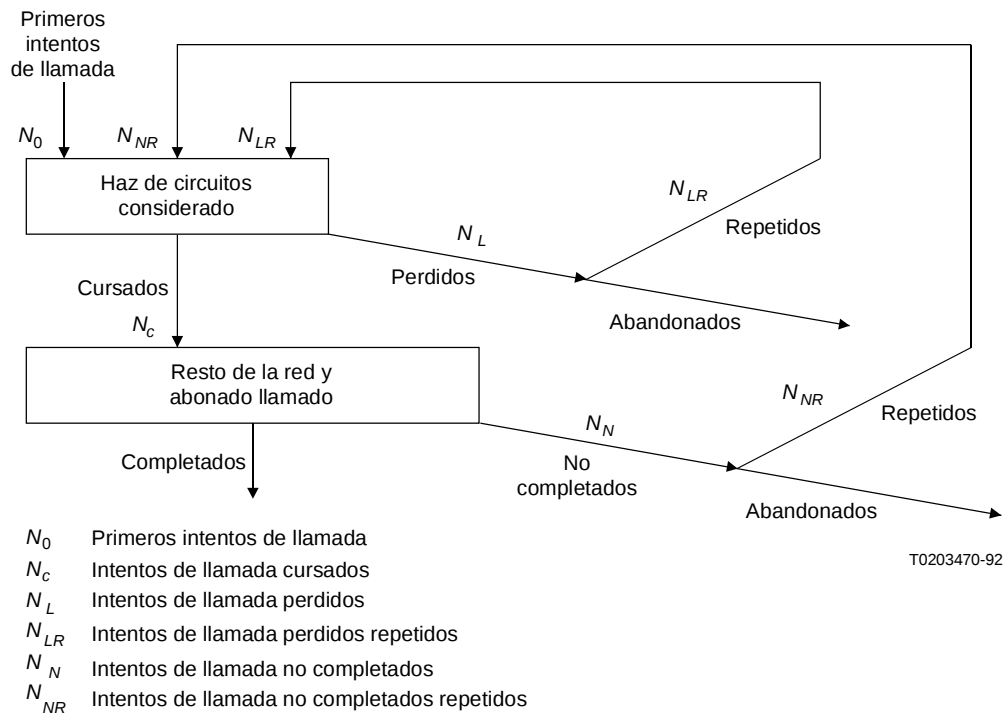


FIGURA A-1/E.501

Sean

$B = \frac{N_L}{N}$, la probabilidad de bloqueo medida en el haz de circuitos, y

$W = \frac{N_{LR}}{N_L}$, la proporción de intentos de llamada bloqueados con reintentos.

Tendremos

$$N_0 + N_{NR} = N - N_{LR} = (N - N_{LR}) \frac{N_c}{N_c} = N_c \frac{(N - N_{LR})}{(N - N_L)} = N_c \frac{(1 - BW)}{(1 - B)}$$

Multiplicando por h , que es el tiempo medio de retención de las llamadas cursadas por el haz de circuitos, se obtiene:

$$A = A_c \frac{(1 - BW)}{(1 - B)}$$

donde

A_c es el tráfico cursado por el haz de circuitos.

Este modelo constituye en realidad una simplificación ya que la tasa N_{NR} se modificaría al ampliar el haz de circuitos.

Otro procedimiento posible consiste en estimar la persistencia equivalente, W , a partir de las fórmulas siguientes:

$$W = \frac{r'H}{1 - H(1 - r')}$$

$$H = \frac{\beta - 1}{\beta(1 - r)}$$

$$\beta = \frac{\text{total de intentos de llamada}}{\text{primeros intentos de llamada}}$$

donde r' es la tasa de compleción para las tomas en el haz de circuitos considerado y r es la tasa de compleción de los intentos de llamada a ese haz de circuitos.

Estas relaciones pueden calcularse considerando la situación después de la ampliación (véase la figura A-2/E.501).

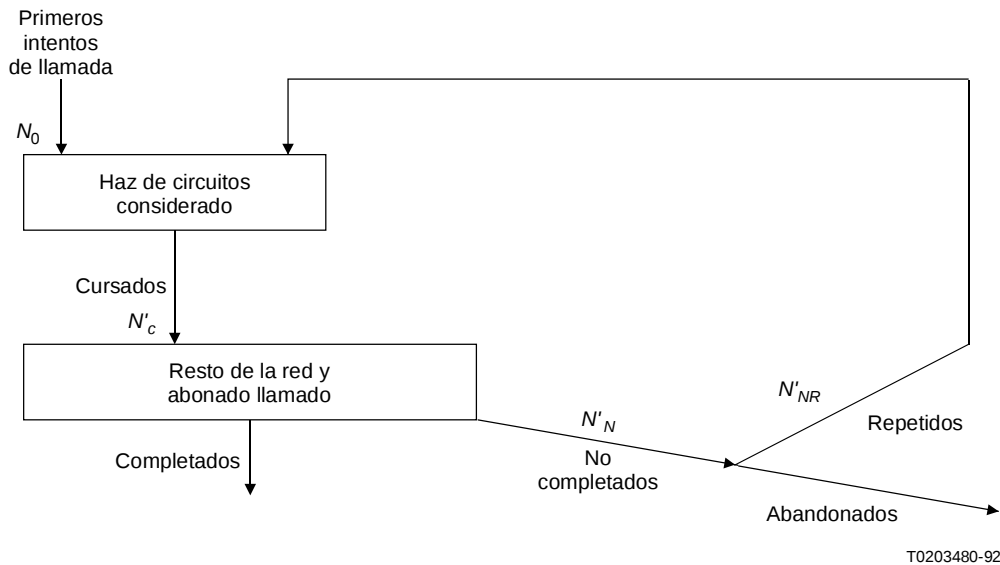


FIGURA A-2/E.501

Es necesario estimar N'_c , las llamadas que han de cursarse cuando no hay congestión en el haz de circuitos. Ello puede hacerse estableciendo relaciones entre N_c y N_0 (antes de la ampliación) y entre N'_c y N'_0 (después de la ampliación), y que se supone que la tasa de primeros intentos de llamada N_0 no se modifica. Introducimos los siguientes parámetros:

H es la persistencia global de los abonados;

r' es la tasa de compleción para las tomas en el haz de circuitos.

Antes de la ampliación:

$$H = \frac{N_{NR} + N_{LR}}{N_N + N_L}$$

$$r' = \frac{N_c - N_N}{N_c}$$

Después de la ampliación:

$$H = \frac{N'_{NR}}{N'_N}$$

$$r' = \frac{N'_c - N'_N}{N'_c}$$

Para simplificar, se supone que H y r no varían como consecuencia de la ampliación. Se deducen fácilmente las siguientes relaciones:

$$N_0 = \frac{N_c [1 - H(1 - r') - r' BH]}{1 - B}$$

$$N_0 = N'_c [1 - H(1 - r')]$$

Luego

$$N'_c = \frac{N_c \left[1 - \left(\frac{r'H}{1 - H(1 - r')} \right) B \right]}{1 - B}$$

Multiplicando por el tiempo medio de retención de las llamadas, h , se obtiene una estimación del tráfico ofrecido en términos del tráfico cursado.

La relación

$$H = \frac{\beta - 1}{\beta(1 - r)}$$

es válida tanto antes como después de la ampliación, como puede comprobarse fácilmente en los diagramas precedentes.

Nota 1 – Otras Administraciones pueden estar en condiciones de proporcionar información sobre la tasa de completión de las llamadas al país de destino considerado.

Nota 2 – El procedimiento de evaluación del factor W anterior se basa en la hipótesis de que H , r' y h permanecen invariables tras la ampliación. La eliminación de la congestión en el haz considerado provoca una variación de H y, en los casos prácticos, esto produce una subestimación del W y, por consiguiente, una sobrestimación del tráfico ofrecido en la fórmula del § 2.2. Un estudio pertinente, efectuado en el periodo 1985-1988, ha mostrado que la sobrestimación es prácticamente despreciable si $B \leq 0,2$ y $r' \geq 0,6$. Para valores mayores de B y menores de r' , la sobrestimación puede ser importante, a menos que no la compensen otros factores que no se hayan tenido en cuenta en el estudio. En consecuencia, deben adoptarse las precauciones adecuadas al utilizar el cuadro A-1/E.501, en la gama indicada. En el caso de redes desarrolladas dinámicamente, pueden admitirse la sobrestimación del tráfico ofrecido y el sobredimensionado correspondiente, pero éste puede no ser en el caso para redes estables.

CUADRO A-1/E.501

Valores de $\frac{1-WB}{1-B}$

$H =$	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
$B = 0,1$						
$r' = 0,3$	1,0653	1,0584	1,0505	1,0411	1,0300	1,0165
$r' = 0,4$	1,0574	1,0505	1,0427	1,0340	1,0241	1,0129
$r' = 0,5$	1,0512	1,0444	1,0370	1,0289	1,0202	1,0105
$r' = 0,6$	1,0462	1,0396	1,0326	1,0252	1,0173	1,0089
$r' = 0,7$	1,0421	1,0358	1,0292	1,0223	1,0152	1,0077
$r' = 0,8$	1,0387	1,0326	1,0264	1,0200	1,0135	1,0068
$B = 0,2$						
$r' = 0,3$	1,1470	1,1315	1,1136	1,0925	1,0675	1,0373
$r' = 0,4$	1,1293	1,1136	1,0961	1,0765	1,0543	1,0290
$r' = 0,5$	1,1153	1,1	1,0833	1,0652	1,0454	1,0238
$r' = 0,6$	1,1041	1,0892	1,0735	1,0568	1,0390	1,0201
$r' = 0,7$	1,0949	1,0806	1,0657	1,0503	1,0342	1,0174
$r' = 0,8$	1,0872	1,0735	1,0595	1,0451	1,0304	1,0154
$B = 0,3$						
$r' = 0,3$	1,2521	1,2255	1,1948	1,1587	1,1158	1,0639
$r' = 0,4$	1,2216	1,1948	1,1648	1,1311	1,0931	1,0498
$r' = 0,5$	1,1978	1,1714	1,1428	1,1118	1,0779	1,0408
$r' = 0,6$	1,1785	1,1530	1,1260	1,0974	1,0669	1,0345
$r' = 0,7$	1,1627	1,1382	1,1127	1,0862	1,0587	1,0299
$r' = 0,8$	1,1495	1,1260	1,1020	1,0774	1,0522	1,0264
$B = 0,4$						
$r' = 0,3$	1,3921	1,3508	1,3030	1,2469	1,1801	1,0995
$r' = 0,4$	1,3448	1,3030	1,2564	1,2040	1,1449	1,0775
$r' = 0,5$	1,3076	1,2666	1,2222	1,1739	1,1212	1,0634
$r' = 0,6$	1,2777	1,2380	1,1960	1,1515	1,1041	1,0537
$r' = 0,7$	1,2531	1,2150	1,1754	1,1342	1,0913	1,0466
$r' = 0,8$	1,2325	1,1960	1,1587	1,1204	1,0813	1,0411
$B = 0,5$						
$r' = 0,3$	1,5882	1,5263	1,4545	1,3703	1,2702	1,1492
$r' = 0,4$	1,5172	1,4545	1,3846	1,3061	1,2173	1,1162
$r' = 0,5$	1,4615	1,4	1,3333	1,2608	1,1818	1,0952
$r' = 0,6$	1,4166	1,3571	1,2941	1,2272	1,1562	1,0806
$r' = 0,7$	1,3797	1,3225	1,2631	1,2013	1,1369	1,0699
$r' = 0,8$	1,3488	1,2941	1,2380	1,1807	1,1219	1,0617

ANEXO B

(a la Recomendación E.501)

Tráfico ofrecido equivalente

En el modelo de llamadas perdidas, el tráfico ofrecido equivalente corresponde al tráfico que produce el tráfico cursado observado, de acuerdo con la relación:

$$y = A(1 - B)$$

donde

y es el tráfico cursado;

A es el tráfico ofrecido equivalente;

B es la congestión de llamadas en la parte considerada de la red.

Nota 1 – Este es un concepto puramente matemático. Físicamente, sólo es posible detectar intentos de toma cuyo efecto sobre los tiempos de ocupación indica si dichos intentos dan lugar a tomas muy breves o a llamadas.

Nota 2 – El tráfico ofrecido equivalente, que es mayor que el tráfico cursado y , por tanto, mayor que el tráfico efectivo, es mayor que el tráfico ofrecido cuando los abonados son muy persistentes.

Nota 3 – B se evalúa sobre una base puramente matemática, por lo que es posible establecer una relación directa entre el tráfico cursado y y la congestión de llamadas, B , y prescindir de la función que desempeña el tráfico ofrecido equivalente, A .

ANEXO C

(a la Recomendación E.501)

Método para determinar el tráfico ofrecido por origen-destino cuando sólo se dispone de las medidas de la intensidad de tráfico por haz de circuitos

[En el § 4.3 se indica la notación, derivación y solución de la ecuación (1)]

Se ha adoptado la siguiente notación:

L : número de enlace;

P : número de relaciones de tráfico;

$a(i)$: tráfico ofrecido para la relación de tráfico i ;

Trayecto ij : ruta j para la relación de tráfico i ;

$OL(ij)$: relación de tráfico i ofrecida al trayecto ij ;

$PB(ij)$: bloqueo de trayecto en el trayecto ij ;

$CL(ij)$: relación de tráfico i cursada por el trayecto ij

$$CL(ij) = OL(ij) \cdot [1 - PB(ij)] \quad (C-1)$$

Enlace de trayecto ijk : es el enlace k del trayecto ij :

- $k = 1$ ó 2 , puesto que sólo se consideran trayectos de un enlace y de dos enlaces (la extensión a trayectos de n enlaces es inmediata);
- cada enlace de trayecto ijk corresponde a un enlace de red único q ($q = 1, 2, \dots, L$), pero cada enlace de red q puede corresponder a un cierto número de enlaces de trayecto ijk . Esta relación se representa mediante una relación de correspondencia X , a saber:

$$X(ijk) = q$$

q designa un haz de circuitos o es igual a cero, de modo que:

- si $X(ij1) = 0$, significa que la relación de tráfico i tiene como máximo $j-1$ rutas;
- si $X(ij2) = 0$ y $X(ij1) \neq 0$, significa que la ruta j para la relación de tráfico i es un trayecto de un enlace.

$LB(ijk)$: bloqueo de enlace en el enlace ijk ;

$CL(q)$: tráfico total cursado por el enlace q .

Debido a los supuestos de que se ha partido en cuanto a la independencia del bloqueo de llamadas en cada enlace de un trayecto, el bloqueo de trayecto es una función simple del bloqueo de sus enlaces:

$$PB(ij) = LB(ij1) + LB(ij2) - LB(ij1) \cdot LB(ij2)$$

Cuando existe capacidad de retroceso, puede derivarse la siguiente ecuación:

$$OL(ij) = a(i) \cdot \prod_{t=1}^{j-1} PB(it) \quad (C-2)$$

Por consiguiente, a partir de las ecuaciones (C-1) y (C-2):

$$CL(ij) = a(i) \cdot [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} PB(it) = s(ij) \cdot a(i)$$

donde

$$s(ij) = [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} PB(it)$$

Luego, el tráfico total cursado por cada enlace q es:

$$CL(q) = \sum_{X(ijk)=q} CL(ij) = \sum_{X(ijk)=q} s(ij) \cdot a(i) \quad (C-3)$$

Cuando no existe capacidad de retroceso, se encaminará una llamada por la ruta siguiente de la secuencia de encaminamiento únicamente si es bloqueada en el primer enlace del trayecto ij . La llamada se abandonará si es bloqueada en el segundo enlace. En este caso, la ecuación (C-2) puede escribirse de esta otra forma:

$$OL(ij) = a(i) \cdot \prod_{t=1}^{j-1} LB(it1) \quad (C-2')$$

A partir de las ecuaciones (C-1) y (C-2'):

$$CL(ij) = a(i) \cdot [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} LB(it1)$$

y suponiendo en este caso (ausencia de la capacidad de retroceso):

$$s(ij) = [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} LB(it1)$$

la ecuación final adopta la forma indicada en (C-3).

El tráfico ofrecido para cada relación puede obtenerse a partir del conjunto de ecuaciones (C-3), en las que la definición de $s(ij)$ depende de la presencia de la capacidad de retroceso en la red.

Para resolver el sistema de ecuaciones (C-3), pueden utilizarse el método de la pseudoinversa y diversos métodos iterativos; dicho sistema puede escribirse en forma matricial (véase la nota):

$$CL = Z \cdot a \quad (C-4)$$

donde

$$\begin{aligned} CL &= [CL(1) \dots\dots\dots CL(L)]^T \\ a &= [a(1) \dots\dots\dots a(P)]^T \\ Z &= [z(u,v)] \end{aligned}$$

siendo $z(u,v) = s(v,r)$ si el enlace u es un enlace del trayecto r de la relación v ; en los demás casos es cero.

Los métodos iterativos son, por lo general, los más eficaces para resolver las ecuaciones correspondientes a una red de gran capacidad. Sin embargo, si se utiliza el método de pseudoinversa, la solución del sistema de ecuaciones (C-4) es:

$$a^\circ = Z^\circ \cdot CL$$

donde a° es la relación del tráfico ofrecido estimada y Z° es la pseudoinversa de Z [2].

Si el sistema de ecuaciones es cuadrado, es decir, si el número de ecuaciones es igual al número de incógnitas y por consiguiente la red está completamente conectada, dicho sistema tiene una solución única:

$$Z^\circ = Z^{-1}$$

Para redes no totalmente conectadas, es decir, si el número de ecuaciones es menor que el número de incógnitas, el sistema de ecuaciones no tiene una solución única, por lo cual debe estimarse el tráfico ofrecido para cada relación, introduciéndose de esta forma un error que será mayor cuanto menor sea el número de haces de circuitos. En este caso:

$$Z^\circ = Z^T \cdot (Z \cdot Z^T)^{-1}$$

Por último, puede también darse el caso en que el número de ecuaciones sea mayor que el número de incógnitas (sistemas sobredeterminados). Esto puede suceder, por ejemplo, cuando se añaden otras medidas de red, tales como los totales de las centrales. En este caso:

$$Z^\circ = (Z^T \cdot Z)^{-1} \cdot Z^T$$

En cualquier caso, a es la estimación óptima de a , en el sentido de los mínimos cuadrados, basada en las medidas disponibles.

Nota 1 – Los símbolos T y -1 en las ecuaciones vectoriales y matriciales representan las operaciones matemáticas *transposición* e *inversión*, respectivamente.

Nota 2 – Diferentes relaciones de tráfico no corresponden a la misma congestión en un enlace, especialmente si se utiliza reserva de circuitos. El método propuesto puede utilizar estos diferentes valores en caso de que estén disponibles. En este caso, $LB(ijk)$ debe interpretarse como el bloqueo del enlace que corresponde a la relación de tráfico i en el enlace ijk . Las ecuaciones que de ahí se derivan permanecen inalteradas.

ANEXO D

(a la Recomendación E.501)

Ejemplos de utilización del método descrito en el anexo C

Ejemplo 1

Considérese la siguiente red de tres nodos.

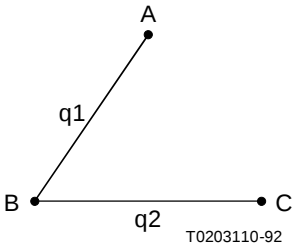


FIGURA D-1/E.501

Los pares de puntos y sus rutas únicas se indican en la siguiente tabla:

Pares de puntos	(A, B)	(B, C)	(C, A)	(B, A)	(C, B)	(A, C)
i	1	2	3	4	5	6
Ruta única	$q1$	$q2$	$q2, q1$	$q1$	$q2$	$q1, q2$

En base a la tabla de encaminamiento, se puede expresar la relación de correspondencia $X(ijk) = q$ de la siguiente manera:

ijk	q	ijk	q	ijk	q	ijk	q	ijk	q	ijk	q
111	1	211	2	311	2	411	1	511	2	611	1
112	0	212	0	312	1	412	0	512	0	612	2

La matriz Z es:

$$Z = \begin{bmatrix} s(11) & 0 & s(31) & s(41) & 0 & s(61) \\ 0 & s(21) & s(31) & 0 & s(51) & s(61) \end{bmatrix}$$

Supóngase que todos los enlaces tienen el mismo valor de bloqueo de 0,1, por tanto, se obtendrán para $s(ij)$ los siguientes valores:

$s(i1) = 0,9$ para $i = 1, 2, 4$ y 5 y $s(i1) = 0,81$ para $i = 3$ y 6 .

Así tenemos

$$\begin{bmatrix} CL(1) \\ CL(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9 & 0 & 0,81 & 0 & 0,9 & 0,81 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a1 + a4 \\ a2 + a5 \\ a3 + a6 \end{bmatrix}$$

Suponiendo que $CL(1) = 5$ erlang, y $CL(2) = 7$ erlang, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} a1 + a4 \\ a2 + a5 \\ a3 + a6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,43 \text{ erlang} \\ 3,65 \text{ erlang} \\ 4,58 \text{ erlang} \end{bmatrix}$$

Es decir, el tráfico ofrecido (bidireccional) entre el par de puntos (A,B) es de 1,43 erlang, entre el par de puntos (B,C) de 3,65 erlang, y entre el par de puntos (A,C) de 4,58 erlang.

Ejemplo 2

Considérese la siguiente red.

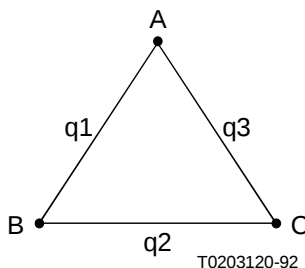


FIGURA D-2/E.501

Los pares de puntos y sus secuencias de encaminamiento se indican en la siguiente tabla:

Par de puntos	(A, B)	(B, C)	(C, A)	(B, A)	(C, B)	(A, C)
i	1	2	3	4	5	6
Ruta de 1ª elección	$q1$	$q2$	$q3$	$q1$	$q2$	$q3$
Ruta de 2ª elección	$q3, q2$	$q1, q3$	$q2, q1$	$q2, q3$	$q3, q1$	$q1, q2$

En base a la tabla de encaminamiento, se puede expresar la relación de correspondencia $X(ijk) = q$ de la siguiente manera:

ijk	q	ijk	q	ijk	q	ijk	q	ijk	q	ijk	q
111	1	211	2	311	3	411	1	511	2	611	3
112	0	212	0	312	0	412	0	512	0	612	0
121	3	221	1	321	2	421	2	521	3	621	1
122	2	222	3	322	1	422	3	522	1	622	2

La matriz Z es:

$$Z = \begin{bmatrix} s(11) & s(22) & s(32) & s(41) & s(52) & s(62) \\ s(12) & s(21) & s(32) & s(42) & s(51) & s(62) \\ s(12) & s(22) & s(31) & s(42) & s(52) & s(61) \end{bmatrix}$$

Supóngase que todos los enlaces tienen el mismo valor de bloqueo de 0,1; por tanto, se obtendrán para $s(ij)$ los siguientes valores, tanto en presencia como en ausencia de capacidad de retroceso: $s(i1) = 0,9$ y $s(i2) = 0,081$.

Luego tendremos:

$$\begin{bmatrix} CL(1) \\ CL(2) \\ CL(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9 & 0,081 & 0,081 \\ 0,081 & 0,9 & 0,081 \\ 0,081 & 0,081 & 0,9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a1 + a4 \\ a2 + a5 \\ a3 + a6 \end{bmatrix}$$

Suponiendo que $CL(1) = 5$ erlang, $CL(2) = 7$ erlang, y $CL(3) = 10$ erlang, obtendremos:

$$\begin{bmatrix} a1 + a4 \\ a2 + a5 \\ a3 + a6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,06 \text{ erlang} \\ 6,05 \text{ erlang} \\ 10,16 \text{ erlang} \end{bmatrix}$$

Es decir, el tráfico ofrecido (bidireccional) entre el par de puntos (A,B) es de 4,06 erlang, entre el par de puntos (B,C) de 6,05 erlang, y entre el par de puntos (A,C) de 10,16 erlang.

Referencias

- [1] TU (M.): *Estimation of origin-destination traffic demand in dynamic routing networks*. Proc. 13th ITC, Copenhagen, 1991.
- [2] ALBERT (A.): *Regression and the Moore-Penrose Pseudoinverse*. Academic Press, New York, 1972.

