



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.501

(05/97)

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

Calidad de servicio, gestión de la red e ingeniería de
tráfico – Ingeniería de tráfico – Medidas y registro del
tráfico

Estimación del tráfico ofrecido en la red

Recomendación UIT-T E.501

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES DE LA SERIE E DEL UIT-T

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

<i>EXPLOTACIÓN, NUMERACIÓN, ENCAMINAMIENTO Y SERVICIO MÓVIL</i>	
EXPLOTACIÓN DE LAS RELACIONES INTERNACIONALES	E.100–E.229
DISPOSICIONES OPERACIONALES RELATIVAS A LA TASACIÓN Y A LA CONTABILIDAD EN EL SERVICIO TELEFÓNICO INTERNACIONAL	E.230–E.299
UTILIZACIÓN DE LA RED TELEFÓNICA INTERNACIONAL PARA APLICACIONES NO TELEFÓNICAS	E.300–E.329
DISPOSICIONES DE LA RDSI RELATIVAS A LOS USUARIOS	E.330–E.399
<i>CALIDAD DE SERVICIO, GESTIÓN DE LA RED E INGENIERÍA DE TRÁFICO</i>	
GESTIÓN DE LA RED TELEFÓNICA INTERNACIONAL	E.400–E.489
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	E.490–E.799
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.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	E.800–E.899
Términos y definiciones relativos a la calidad de los servicios de telecomunicación	E.800–E.809
Modelos para los servicios de telecomunicación	E.810–E.844
Objetivos para la calidad de servicio y conceptos conexos de los servicios de telecomunicaciones	E.845–E.859
Utilización de los objetivos de calidad de servicio para la planificación de redes de telecomunicaciones.	E.860–E.879
Recopilación y evaluación de datos reales sobre la calidad de funcionamiento de equipos, redes y servicios	E.880–E.899

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

RECOMENDACIÓN UIT-T E.501

ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO OFRECIDO EN LA RED

Resumen

En esta Recomendación se indican los procedimientos de estimación del tráfico ofrecido a una red con conmutación de circuitos. Se describen los métodos para calcular el tráfico ofrecido a un haz de circuitos y el tráfico origen/destino, basado en medidas de haces de circuitos.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.501, ha sido revisada por la Comisión de Estudio 2 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 26 de mayo de 1997.

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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT.

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 ha recibido/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 1997

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

		<i>Página</i>
1	Introducción	1
2	Alcance.....	2
3	Referencias.....	2
4	Haz de circuitos monotrayecto.....	2
	4.1 Situaciones sin congestión importante.....	2
	4.2 Situaciones con congestión importante.....	2
5	Configuración de haces de circuitos con haz de gran utilización y haz final	3
	5.1 Haz de gran utilización con congestión poco importante en el haz final.....	3
	5.2 Haz de gran utilización con congestión importante en el haz final	3
6	Tráfico ofrecido equivalente por origen-destino	4
	6.1 Determinación del tráfico ofrecido por origen-destino cuando se dispone de medidas de tráfico origen-destino para todos los intentos de llamada	4
	6.2 Determinación del tráfico ofrecido por origen-destino cuando sólo se dispone de medidas del tráfico por origen-destino obtenidas por muestreo	4
	6.3 Determinación del tráfico ofrecido por origen-destino cuando sólo se dispone de medidas de intensidad de tráfico basadas en haces de circuitos	4
7	Antecedentes	5
8	Bibliografía	5
	Anexo A – Modelo simplificado para la fórmula presentada en el 4.2	5
	Anexo B – Tráfico ofrecido equivalente	10
	Anexo C – 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	10
	C.1 En 6.3 se indica la notación, derivación y solución de la fórmula 6-1	10
	C.2 El método de pseudoinversa	12
	C.3 El algoritmo iterativo.....	12
	Bibliografía	14
	Anexo D – Ejemplos de aplicación de los métodos descritos en el anexo C	14
	D.1 Ejemplo 1.....	14
	D.2 Ejemplo 2.....	16
	Anexo E – Evaluación de la calidad de funcionamiento de una muestra del método de pseudoinversa y del algoritmo iterativo.....	19

ESTIMACIÓN DEL TRÁFICO OFRECIDO EN LA RED

(revisada en 1997)

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 medida – 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. 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.

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

Cuando 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. Las cláusulas 4 y 5 se refieren a la determinación del tráfico ofrecido a un haz de circuitos, cláusula 4 trata de la estimación del tráfico ofrecido a un haz de circuitos monotrayecto plenamente operacional que puede estar afectado or una congestión importante, y cláusula 5 trata de una configuración con haces de gran utilización y haces finales sin congestión importante. La cláusula 6 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 la cláusula 6 el tráfico ofrecido estimado es el "tráfico ofrecido equivalente" utilizado en el modelo de llamadas perdidas del anexo B, mientras que en las cláusulas 4 y 5 se tienen en cuenta, en la evaluación del tráfico ofrecido, la repetición de intentos 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 Alcance

En esta Recomendación se indican medios de estimación del tráfico ofrecido a haces de circuitos basados en medidas del tráfico cursado y medios de estimación de los flujos de tráfico origen/destino basados en medidas de haces de circuitos.

3 Referencias

Las Recomendaciones del UIT-T y demás referencias siguientes 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 demás referencias son objeto de revisiones, por lo que se preconiza que todos los usuarios de la presente Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y demás referencias citadas a continuación. Se publica regularmente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- Recomendación E.500 del CCITT (1992), *Principios de medida de la intensidad de tráfico*.
- Recomendación E.502 del CCITT (1992), *Requisitos de las medidas de tráfico para las centrales digitales de telecomunicación*.

4 Haz de circuitos monotrayecto

4.1 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.

4.2 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:

$$A = A_C \frac{(1 - WB)}{(1 - B)} \quad (4-1)$$

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 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, 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 funcionan correctamente tienen asociados circuitos defectuosos, o equipos de transmisión o señalización defectuosos, la fórmula podría dar resultados incorrectos.

5 Configuración de haces de circuitos con haz de gran utilización y haz final

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

5.1.1 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:

$$A = A_H + A_F \quad (5-1)$$

5.1.2 Se recomiendan dos tipos distintos de procedimientos, cada uno de los cuales comprende varios métodos posibles. El método indicado en el apartado a) del 5.1.2.1 es el preferido por ser el más exacto, aunque pueda ser también el más difícil. Los métodos expuestos en el 5.1.2.2 pueden utilizarse como estimaciones adicionales.

5.1.2.1 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_F se mide directamente. En la mayoría de los casos esto puede hacerse midiendo el tráfico cursado por el haz final para cada destino.
- El tráfico total cursado por el haz final se descompone por destino proporcionalmente al número de llamadas eficaces para cada destino.
- 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.

5.1.2.2 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:

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

$$A_H = A [1 - E_N(A)] \quad (5-2)$$

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 .

- El valor de A se estima mediante la fórmula:

$$A = A_H / (1 - B) \quad (5-3)$$

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.

5.2 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 4.2 y 5.1. 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.

6 Tráfico ofrecido equivalente por origen-destino

En esta cláusula 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, el tráfico ofrecido por origen/destino puede obtenerse de tres formas distintas mediante la elaboración de:

- i) las medidas de dispersión y duración del tráfico (véase la Recomendación E.502) realizadas por los equipos de conmutación de la red en el tráfico total;
- ii) las medidas de dispersión y duración del tráfico (véase la Recomendación E.502) realizadas por los equipos de conmutación de la red por muestreo;
- iii) las medidas en los haces y nodos de circuitos.

6.1 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 4.2.4/E.502 y no son necesarios más cálculos.

6.2 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/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 E.502). 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 la cláusula 4.

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

Esta subcláusula se refiere a los equipos de conmutación que no realizan medidas de tráfico por origen-destino, sino únicamente medidas de las intensidades 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 dT , siempre que el intervalo actualizado dT sea bastante largo para garantizar las condiciones de tráfico estacionario.

Se parte de los tres 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) el hecho de que una llamada sea bloqueada en un enlace del trayecto es independiente de que sea bloqueada en los otros enlaces;
- iii) un trayecto está compuesto de por lo menos dos enlaces.

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 cuando los valores de la congestión de la red son tan bajos como los valores tomados como base en el dimensionamiento de la red.

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 TG ;
- ii) la secuencia de encaminamiento (fija) durante el periodo dT .

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

$$TG = Z \cdot a \quad (6-1)$$

donde TG 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. La ecuación 6-1 es formalmente válida incluso si no se parte de los supuestos i) y iii) precedentes.

El tráfico ofrecido por origen-destino, a , se obtiene resolviendo la ecuación 6-1. En general, la solución puede obtenerse por los métodos matemáticos clásicos, como el descrito en el anexo C. No obstante, cuando el número de nodos es alto, la solución del sistema de ecuaciones puede ser compleja y son esenciales métodos de reducción de variable desconocida. Las propuestas de algunos de estos métodos quedan para estudios ulteriores. En el anexo D aparecen ejemplos de la aplicación del método de pseudoinversa. En el anexo E figura una evaluación de la calidad de funcionamiento de una muestra del método de pseudoinversa y del algoritmo iterativo.

En el anexo C se describen la notación utilizada, así como la derivación y solución de la ecuación 6-1 cuando se adoptan dos trayectos de enlace. La extensión a trayectos con más de dos enlaces queda en estudio.

7 Antecedentes

Esta Recomendación se publicó por primera vez en 1984 y fue revisada en 1992 y 1997.

8 Bibliografía

- [1] TU (M.): Estimation of Point-to-Point Traffic Demand in the Public Switched Telephone Network, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 42, N.ºs. 2/3/4, pp. 840-845, febrero/marzo/abril de 1994.

Anexo A

Modelo simplificado para la fórmula presentada en el 4.2

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

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

$$N = N_0 + N_{NR} + N_{LR} \quad (A-1)$$

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

Sean:

$$B = \frac{N_L}{N} \quad \text{la probabilidad de bloqueo medida en el haz de circuitos;} \quad (A-2)$$

$$W = \frac{N_{LR}}{N_L} \quad \text{la proporción de intentos de llamada bloqueados con reintentos.} \quad (A-3)$$

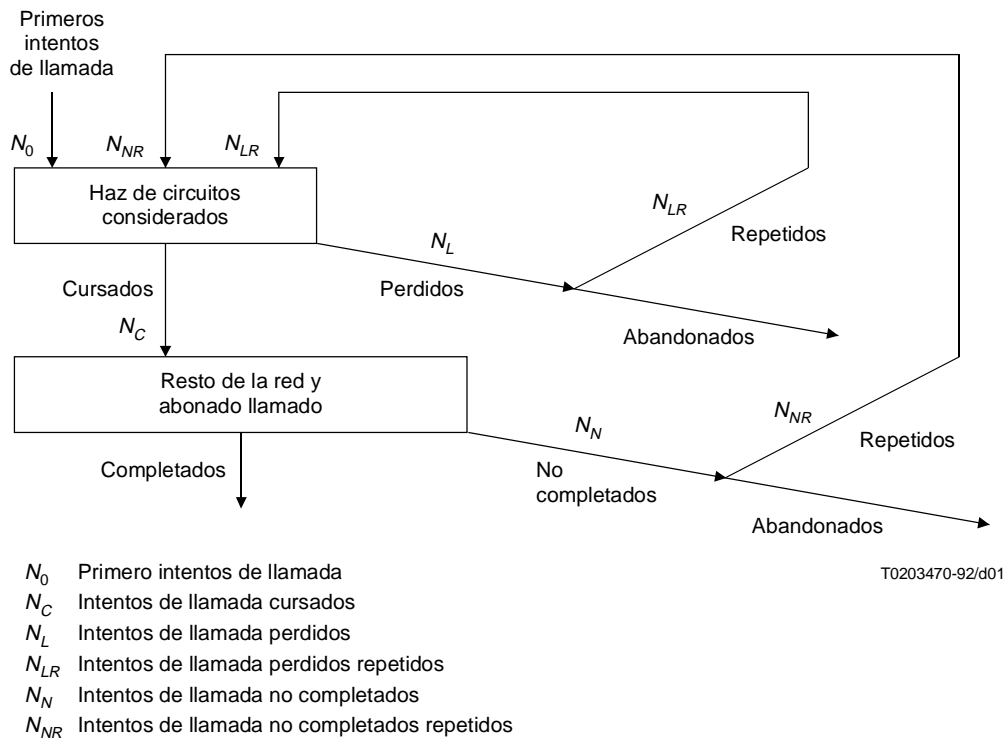


Figura A.1/E.501

Tendremos:

$$N_0 + N_{NR} = N - N_{LR} = (N - N_{LR}) \frac{N_C}{N_C} = N_C \frac{(N - N_{LR})}{(N - N_L)} = N_C \frac{(1 - BW)}{(1 - B)} \quad (A-4)$$

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

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

$$A = A_C \frac{(1 - WB)}{(1 - B)} \quad (A-5)$$

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:

$$W = \frac{r'H}{1 - H(1 - r')} \quad (A-6)$$

$$H = \frac{\beta - 1}{\beta(1 - r)} \quad (\text{A-7})$$

$$\beta = \frac{\text{total de intentos de llamada}}{\text{primeros intentos de llamada}} \quad (\text{A-8})$$

donde r' es la tasa de completación para las tomas en el haz de circuitos considerado y r es la tasa de completación 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).

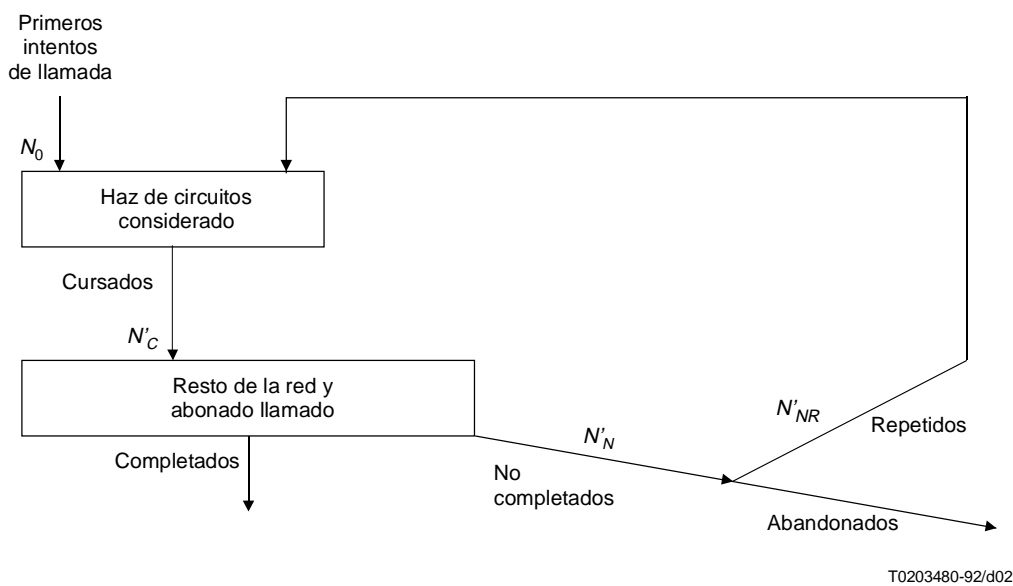


Figura A.2/E.501

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 completación para las tomas en el haz de circuitos.

Antes de la ampliación:

$$H = \frac{N_{NR} + N_{NL}}{N_N + N_L} \quad (\text{A-9})$$

$$r' = \frac{N_C - N_N}{N_C} \quad (\text{A-10})$$

Después de la ampliación:

$$H = \frac{N'_{NR}}{N'_N} \quad (\text{A-11})$$

$$r' = \frac{N'_C - N'_N}{N'_C} \quad (\text{A-12})$$

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

$$N_0 = \frac{N_C [1 - H(1 - r') - r'BH]}{1 - B} \quad (\text{A-13})$$

$$N_0 = N'_C [1 - H(1 - r')] \quad (\text{A-14})$$

Luego:

$$N'_C = \frac{N_C \left[1 - \left(\frac{r'H}{1 - H(1 - r')} \right) B \right]}{1 - B} \quad (\text{A-15})$$

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:

$$H = \frac{\beta - 1}{\beta(1 - r)} \quad (\text{A-16})$$

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

NOTA 1 – Algunas Administraciones pueden estar en condiciones de proporcionar información sobre la tasa de completión de las llamadas al 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 4.2. 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, 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
<i>B</i> = 0,1						
<i>r</i> ' = 0,3	1,0653	1,0584	1,0505	1,0411	1,0300	1,0165
<i>r</i> ' = 0,4	1,0574	1,0505	1,0427	1,0340	1,0241	1,0129
<i>r</i> ' = 0,5	1,0512	1,0444	1,0370	1,0289	1,0202	1,0105
<i>r</i> ' = 0,6	1,0462	1,0396	1,0326	1,0252	1,0173	1,0089
<i>r</i> ' = 0,7	1,0421	1,0358	1,0292	1,0223	1,0152	1,0077
<i>r</i> ' = 0,8	1,0387	1,0326	1,0264	1,0200	1,0135	1,0068
<i>B</i> = 0,2						
<i>r</i> ' = 0,3	1,1470	1,1315	1,1136	1,0925	1,0675	1,0373
<i>r</i> ' = 0,4	1,1293	1,1136	1,0961	1,0765	1,0543	1,0290
<i>r</i> ' = 0,5	1,1153	1,1	1,0833	1,0652	1,0454	1,0238
<i>r</i> ' = 0,6	1,1041	1,0892	1,0735	1,0568	1,0390	1,0201
<i>r</i> ' = 0,7	1,0949	1,0806	1,0657	1,0503	1,0342	1,0174
<i>r</i> ' = 0,8	1,0872	1,0735	1,0595	1,0451	1,0304	1,0154
<i>B</i> = 0,3						
<i>r</i> ' = 0,3	1,2521	1,2255	1,1948	1,1587	1,1158	1,0639
<i>r</i> ' = 0,4	1,2216	1,1948	1,1648	1,1311	1,0931	1,0498
<i>r</i> ' = 0,5	1,1978	1,1714	1,1428	1,1118	1,0779	1,0408
<i>r</i> ' = 0,6	1,1785	1,1530	1,1260	1,0974	1,0669	1,0345
<i>r</i> ' = 0,7	1,1627	1,1382	1,1127	1,0862	1,0587	1,0299
<i>r</i> ' = 0,8	1,1495	1,1260	1,1020	1,0774	1,0522	1,0264
<i>B</i> = 0,4						
<i>r</i> ' = 0,3	1,3921	1,3508	1,3030	1,2469	1,1801	1,0995
<i>r</i> ' = 0,4	1,3448	1,3030	1,2564	1,2040	1,1449	1,0775
<i>r</i> ' = 0,5	1,3076	1,2666	1,2222	1,1739	1,1212	1,0634
<i>r</i> ' = 0,6	1,2777	1,2380	1,1960	1,1515	1,1041	1,0537
<i>r</i> ' = 0,7	1,2531	1,2150	1,1754	1,1342	1,0913	1,0466
<i>r</i> ' = 0,8	1,2325	1,1960	1,1587	1,1204	1,0813	1,0411
<i>B</i> = 0,5						
<i>r</i> ' = 0,3	1,5882	1,5263	1,4545	1,3703	1,2702	1,1492
<i>r</i> ' = 0,4	1,5172	1,4545	1,3846	1,3061	1,2173	1,1162
<i>r</i> ' = 0,5	1,4615	1,4	1,3333	1,2608	1,1818	1,0952
<i>r</i> ' = 0,6	1,4166	1,3571	1,2941	1,2272	1,1562	1,0806
<i>r</i> ' = 0,7	1,3797	1,3225	1,2631	1,2013	1,1369	1,0699
<i>r</i> ' = 0,8	1,3488	1,2941	1,2380	1,1807	1,1219	1,0617

Anexo B

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:

$$y = A(1 - B) \quad (\text{B-1})$$

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 la gestión de llamadas, B , y prescindir de la función que desempeña el tráfico ofrecido equivalente, A .

Anexo C

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

C.1 En 6.3 se indica la notación, derivación y solución de la fórmula 6-1

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 : trayecto j -ésimo 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 ;

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

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

Enlace de trayecto ijk : es k -ésimo 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 haz de circuitos único q ($q = 1, 2, \dots, L$), pero cada haz de circuitos q puede corresponder a un cierto número de enlaces de trayecto ijk . Esta relación se representa mediante una relación de correspondencia X , a saber:

$$X(ijk) = q \quad (\text{C-2})$$

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

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

$TG(q)$: tráfico total cursado por el haz de circuitos 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 haces de circuitos:

$$PB(ij) = LB(ij1) + LB(ij2) - LB(ij1) \cdot LB(ij2) \quad (C-3)$$

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

$$OL(ij) = a(i) \cdot \prod_{t=1}^{j-1} PB(it) \quad (C-4)$$

Por consiguiente, a partir de las fórmulas C-1 y C-4:

$$CL(ij) = a(i) \cdot [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} PB(it) = s(ij) \cdot a(i) \quad (C-5)$$

donde:

$$s(ij) = [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} PB(it) \quad (C-6)$$

Luego, el tráfico total cursado por cada haz de circuito q es:

$$TG(q) = \sum_{X(ijk)=q} CL(ij) = \sum_{X(ijk)=q} s(ij) \cdot a(i) \quad (C-7)$$

Cuando no existe capacidad de retroceso, se encaminará una llamada por el trayecto 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 fórmula C-4 puede escribirse de esta otra forma:

$$OL(ij) = a(i) \cdot \prod_{t=1}^{j-1} LB(it1) \quad (C-8)$$

A partir de las fórmulas C-1 y C-8:

$$CL(ij) = a(i) \cdot [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} LB(it1) \quad (C-9)$$

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

$$s(ij) = [1 - PB(ij)] \cdot \prod_{t=1}^{j-1} LB(it1) \quad (C-10)$$

la ecuación final adopta la forma indicada en C-7:

El tráfico ofrecido para cada relación puede obtenerse a partir del conjunto de la fórmula C-7, en la 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-7, pueden utilizarse el método de la pseudoinversa y diversos métodos iterativos; dicho sistema puede escribirse en forma matricial:

$$TG = Z \cdot a \quad (C-11)$$

donde:

$$\begin{aligned} TG &= [TG(1), \dots, TG(L)]^T \\ a &= [a(1), \dots, a(P)]^T \\ Z &= [z(uv)]_{L \times P} \end{aligned} \quad (C-12)$$

siendo $z(uv)=s(vr)$ si el haz de circuitos u es un haz de circuitos del trayecto r -ésimo de la relación v ; en los demás casos es cero.

Hasta este momento se han propuesto dos métodos para resolver el sistema C-11: el de pseudoinversa y el de algoritmo iterativo.

C.2 El método de pseudoinversa

Si se utiliza el método de pseudoinversa, la solución del sistema de ecuaciones C-11 es:

$$a^0 = Z^0 \cdot TG \quad (C-13)$$

donde a^0 es la relación del tráfico ofrecido estimada y Z^0 es la pseudoinversa de Z (C-1).

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:

$$Z^0 = Z^{-1} \quad (C-14)$$

donde Z^{-1} es la matriz inversa (si existe) de Z .

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:

$$Z^0 = Z^T \cdot (Z \cdot Z^T)^{-1} \quad (C-15)$$

donde Z^T es la transpuesta de la matriz de Z .

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:

$$Z^0 = (Z^T \cdot Z)^{-1} \cdot Z^T \quad (C-16)$$

En cualquier caso, a^0 es la estimación óptima de a , en el sentido de los mínimos cuadrados, basada en las medidas disponibles.

C.3 El algoritmo iterativo

En el método iterativo $a^{(0)}$ se da en primer lugar una estimación inicial de a . Luego, a partir de la estimación actual $a^{(k)}$ en el paso k -ésimo, se obtiene una nueva estimación $a^{(k+1)}$ como se indica a continuación:

$$a^{(k+1)} = a^{(k)} + w^{(k)} \cdot v^{(k)} \quad (C-17)$$

En esta ecuación, la cantidad escalar $w^{(k)}$ y el componente r -ésimo genérico del vector $v^{(k)}$ se obtienen mediante la ponderación adecuada del error $\Delta TG^{(k)} = Z \cdot a^{(k)} - TG$, según las siguientes expresiones (C-2):

$$v_r^{(k)} = a_r^{(k)} \sum_{i=1}^L \frac{\Delta TG_i^{(k)}}{TG_i} z_{i,r} \quad r = 1, 2, \dots, P \quad (C-18)$$

$$w^{(k)} = \frac{\left(\Delta TG^{(k)}\right)^T Z \cdot v^{(k)}}{\left(v^{(k)}\right)^T Z^T Z \cdot v^{(k)}} \quad (C-19)$$

Estas ecuaciones se obtienen para reducir al mínimo la distancia entre ΔTG y la actualización $w \cdot v$ en cada iteración. Este proceso termina cuando la variación relativa de la estimación

$$\frac{\|a^{(k+1)} - a^{(k)}\|}{\|a^{(k)}\|} \quad (C-20)$$

es menor que un límite prefijado (por ejemplo 10^{-3}).

La precisión y/o velocidad del método puede depender de la aproximación de la estimación inicial $a^{(0)}$ al valor verdadero de a .

Puede lograrse una expresión conveniente de la estimación inicial del tráfico origen/destino mediante los siguientes pasos:

- 1) estimación de la probabilidad $P_{R|T}(r|k)$ de que el tráfico cursado en el haz de circuitos k pertenece a la relación origen/destino r mediante la ecuación:

$$P_{R|T}(r|k) = \frac{z_{k,r}}{\sum_i z_{k,i}} \quad (C-21)$$

donde $z_{k,r}$ es el elemento en la fila k -ésima y en la columna r -ésima de z ;

- 2) estimación del tráfico origen/destino cursado en cada trayecto, que consta de uno o más haces de circuitos, a través de la ecuación:

$$a_{r,q}^* = \min_{k_i} \left[P_{R|T}(r|k_i) TG_{k_i} \right] \quad (C-22)$$

donde el subíndice i abarca todos los haces de circuitos del trayecto q ;

- 3) estimación del tráfico total cursado en el haz de circuitos k como la suma de las estimaciones para el tráfico debido a todas las relaciones que utilizan ese haz de circuitos mediante la ecuación:

$$TG_k^{est} = \sum_{r,q} a_{r,q}^* \quad (C-23)$$

- 4) normalización de la estimación obtenida en el paso 2):

$$a_{r,q}^{**} = a_{r,q}^* \frac{TG_{k_1}}{TG_{k_1}^{est}} \quad (C-24)$$

- 5) Estimación del tráfico por origen/destino ofrecido utilizando el tráfico por origen/destino estimado cursado en cada trayecto y la pérdida estimada para cada par origen/destino:

$$a_r^{(0)} = \frac{\sum a_{r,q}^{**}}{1 - PB_r} \quad (C-25)$$

donde la pérdida PB_r para la relación r se estima a partir de las pérdidas medidas en el haz de circuitos, suponiendo que cada relación que utiliza el mismo haz de circuitos experimenta la misma pérdida.

NOTA 1 – Diferentes relaciones de tráfico no corresponden al mismo bloqueo en un haz de circuitos, especialmente si se utiliza la reserva de circuito. El método propuesto puede utilizar las probabilidades de bloqueo de la relación de tráfico. En ambos casos, $LB(ijk)$ debe interpretarse como el bloqueo del haz de circuitos que corresponde a la relación i en el enlace de circuito ijk . Las ecuaciones que de ahí se derivan permanecen inalteradas. La evaluación del bloqueo de la relación mediante modelos analíticos queda en estudio.

NOTA 2 – En el caso de grandes redes, la solución del sistema de ecuaciones lineales C-11 puede estar afectada por problemas de cómputo (por ejemplo, inestabilidad). Además, la convergencia de los algoritmos iterativos no se comprueba de un modo matemático riguroso, pero se ha obtenido en los casos prácticos examinados. Es sumamente conveniente una reducción de las dimensiones del sistema para disminuir el volumen de cálculos. El método específico para reducir ese volumen de cálculos queda en estudio.

Bibliografía

- ALBERT (A): Regression and the Moore-Penrose Pseudoinverse, *Academic Press*, New York, 1972.
- KIM (N.): A point-to-point traffic estimation from circuit group and office measurement for large network, *13th International Teletraffic Congress*, páginas 465-469, Copenhage, 19-26 de junio de 1991.

Anexo D

Ejemplos de aplicación de los métodos descritos en el anexo C

D.1 Ejemplo 1

Considérese la siguiente red de tres nodos (véanse las figuras D.1 y D.2):

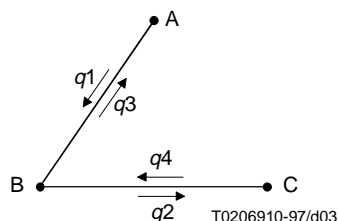


Figura D.1/E.501 – Ejemplo de haz de circuitos unidireccional

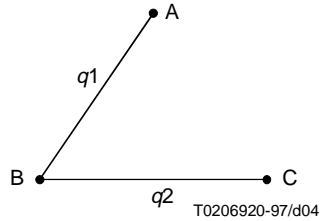


Figura D.2/E.501 – Ejemplo de haz de circuitos bidireccional

En los cuadros siguientes se indican los pares origen/destino y sus trayectos:

Para el caso unidireccional

Origen/destino	(A, B)	(B, C)	(C, A)	(B, A)	(C, B)	(A, C)
<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
Trayecto	<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q4, q3</i>	<i>q3</i>	<i>q4</i>	<i>q1, q2</i>

Para el caso bidireccional

Origen/destino	(A, B)	(B, C)	(C, A)	(B, A)	(C, B)	(A, C)
<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
Trayecto	<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q2, q1</i>	<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q1, q2</i>

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

Para el caso unidireccional

<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>
111	1	211	2	311	4	411	3	511	4	611	1
112	0	212	0	312	3	412	0	512	0	612	2

Para el caso bidireccional

<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>
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:

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

para el caso unidireccional;

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

para el caso bidireccional.

Supóngase que también para los haces de circuitos bidireccionales todos los enlaces tienen el mismo valor de bloqueo de 0,1 luego 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:

$$\begin{bmatrix} TG(1) \\ TG(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,9 & 0 & 0,81 \\ 0 & 0,9 & 0,81 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1) + a(4) \\ a(2) + a(5) \\ a(3) + a(6) \end{bmatrix}.$$

Suponiendo que $TG(1) = 5$ E, y $TG(2) = 7$ E, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} a(1) + a(4) \\ a(2) + a(5) \\ a(3) + a(6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,43 \text{ E} \\ 3,65 \text{ E} \\ 4,58 \text{ E} \end{bmatrix}.$$

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

Para el haz de circuitos unidireccional se obtienen los valores para $s(i1)$: $s(i1) = 0,9$ para $i = 1, 2, 4$ y 5 , y $s(i1) = 0,81$ para $i = 3$ y 6 . Así tenemos:

$$\begin{bmatrix} TG(1) \\ TG(2) \\ TG(3) \\ TG(4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,90 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,81 \\ 0,00 & 0,90 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,81 \\ 0,00 & 0,00 & 0,81 & 0,90 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,81 & 0,00 & 0,90 & 0,00 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1) \\ a(2) \\ a(3) \\ a(4) \\ a(5) \\ a(6) \end{bmatrix}.$$

Suponiendo que:

$$TG = \begin{bmatrix} 2,5 \\ 3,5 \\ 2,5 \\ 3,5 \end{bmatrix},$$

Aplicando el método de pseudoinversa se obtiene:

$$\begin{bmatrix} a(1) \\ a(2) \\ a(3) \\ a(4) \\ a(5) \\ a(6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,716709 \\ 1,82782 \\ 2,29008 \\ 0,716709 \\ 1,82782 \\ 2,29008 \end{bmatrix}.$$

D.2 Ejemplo 2

Considérese la siguiente red (véanse las figuras D.3 y D.4):

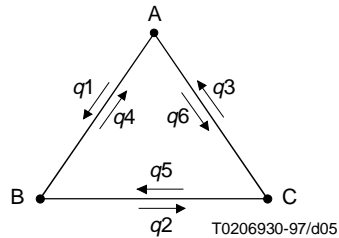


Figura D.3/E.501 – Ejemplo de haz de circuitos unidireccional

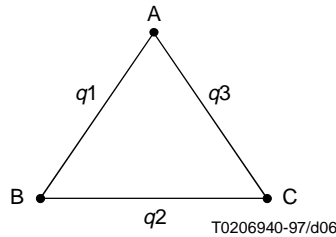


Figura D.4/E.501 – Ejemplo de haz de circuitos bidireccional

En los cuadros siguientes se indican los nodos origen/destino y sus secuencias de encaminamiento:

Para el caso unidireccional

Nodos origen/destino	(A, B)	(B, C)	(C, A)	(B, A)	(C, B)	(A, C)
<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
Trayecto de 1ª elección	<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q3</i>	<i>q4</i>	<i>q5</i>	<i>q6</i>
Trayecto de 2ª elección	<i>q6, q5</i>	<i>q4, q6</i>	<i>q5, q4</i>	<i>q2, q3</i>	<i>q3, q1</i>	<i>q1, q2</i>

Para el caso bidireccional:

Nodos origen/destino	(A, B)	(B, C)	(C, A)	(B, A)	(C, B)	(A, C)
<i>i</i>	1	2	3	4	5	6
Trayecto de 1ª elección	<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q3</i>	<i>q1</i>	<i>q2</i>	<i>q3</i>
Trayecto de 2ª elección	<i>q3, q2</i>	<i>q1, q3</i>	<i>q2, q1</i>	<i>q2, q3</i>	<i>q3, q1</i>	<i>q1, q2</i>

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

Para el caso unidireccional

<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>
111	1	211	2	311	3	411	4	511	5	611	6
112	0	212	0	312	0	412	0	512	0	612	0
121	6	221	4	321	5	421	2	521	3	621	1
122	5	222	6	322	4	422	3	522	1	622	2

Para el caso bidireccional

<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>	<i>ijk</i>	<i>q</i>
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:

$$Z = \begin{bmatrix} s(11) & 0 & 0 & 0 & s(52) & s(62) \\ 0 & s(21) & 0 & s(42) & 0 & s(62) \\ 0 & 0 & s(31) & s(42) & s(52) & 0 \\ 0 & s(22) & s(32) & s(41) & 0 & 0 \\ s(12) & 0 & s(32) & 0 & s(51) & 0 \\ s(12) & s(22) & 0 & 0 & 0 & s(61) \end{bmatrix}$$

para el caso unidireccional;

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

para el caso bidireccional.

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

Así tenemos:

$$\begin{bmatrix} TG(1) \\ TG(2) \\ TG(3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,981 & 0,081 & 0,081 \\ 0,081 & 0,981 & 0,081 \\ 0,081 & 0,081 & 0,981 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1) + a(4) \\ a(2) + a(5) \\ a(3) + a(6) \end{bmatrix}$$

Suponiendo que $TG(1) = 5$ E, $TG(2) = 7$ E, y $TG(3) = 10$ E, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} a(1) + a(4) \\ a(2) + a(5) \\ a(3) + a(6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,82 \text{ E} \\ 6,05 \text{ E} \\ 9,38 \text{ E} \end{bmatrix}$$

Es decir, el tráfico ofrecido (bidireccional) entre los puntos extremos A y B es de 3,82 E, entre los puntos extremos B y C es de 6,05 E y entre los puntos extremos A y C es de 9,38 E.

Para el haz de circuitos unidireccional se obtienen los valores para $s(ij)$: $s(i1) = 0,9$ y $s(i2) = 0,081$ para $i = 1, \dots, 6$. Así tenemos:

$$\begin{bmatrix} TG(1) \\ TG(2) \\ TG(3) \\ TG(4) \\ TG(5) \\ TG(6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,900 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,081 & 0,081 \\ 0,000 & 0,900 & 0,000 & 0,081 & 0,000 & 0,081 \\ 0,000 & 0,000 & 0,900 & 0,081 & 0,081 & 0,000 \\ 0,000 & 0,081 & 0,081 & 0,900 & 0,000 & 0,000 \\ 0,081 & 0,000 & 0,081 & 0,000 & 0,900 & 0,000 \\ 0,081 & 0,081 & 0,000 & 0,000 & 0,000 & 0,900 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a(1) \\ a(2) \\ a(3) \\ a(4) \\ a(5) \\ a(6) \end{bmatrix}$$

Suponiendo que:

$$TG = \begin{bmatrix} 2,5 \\ 3,5 \\ 5,0 \\ 2,5 \\ 3,5 \\ 5,0 \end{bmatrix},$$

Aplicando el método de pseudoinversa se obtiene:

$$\begin{bmatrix} a(1) \\ a(2) \\ a(3) \\ a(4) \\ a(5) \\ a(6) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,0281 \\ 3,2491 \\ 5,08061 \\ 2,0281 \\ 3,2491 \\ 5,08061 \end{bmatrix}.$$

Anexo E

Evaluación de la calidad de funcionamiento de una muestra del método de pseudoinversa y del algoritmo iterativo

Para evaluar ambos métodos se ha utilizado una red de tamaño medio formada por 15 nodos, como se indica en la figura E.1. La red está conectada en una forma estructurada parcialmente en malla con una conectividad del 65%.

Se establece el plan de encaminamiento que permite no más de tres trayectos, formados por uno o dos enlaces para cada par origen/destino.

Para esta red se han considerado dos conjuntos básicos de valores de tráfico origen/destino, obtenidos mediante la graduación de los valores reales de tal modo que produzcan un grado de servicio medio igual a 2,5% y 7,1%, respectivamente. Se ha aplicado luego a cada conjunto básico una perturbación aleatoria (dentro de una gama de $\pm 10\%$) para obtener dos grupos de 100 conjuntos.

Cada conjunto se ha aplicado a un instrumento de análisis de la red, lo cual proporciona los valores del tráfico cursado en el haz de circuitos y las pérdidas asociadas. Después de formar el sistema de ecuaciones C-11 para cada conjunto de valores de tráfico origen/destino, se han aplicado ambos métodos (el método de pseudoinversa y el algoritmo iterativo), que da como resultado dos grupos de 100 conjuntos de valores de tráfico origen/destino estimados para cada método. El punto inicial para el algoritmo iterativo se ha fijado en 1 erlang para todos los pares origen/destino.

Para evaluar la calidad de funcionamiento de ambos métodos se han utilizado dos indicadores: los errores relativos "Norm-2" y "Norm-infinity", definidos respectivamente como:

$$\|e\|_2 = \frac{\|a_s - a\|_2}{\|a\|_2} = \frac{\sqrt{\sum_h (a_{s,h} - a_h)^2}}{\sqrt{\sum_h a_h^2}}, \quad (E-1)$$

$$\|e\|_\infty = \text{Max}_h \left| \frac{a_{s,h} - a_h}{a_h} \right|. \quad (E-2)$$

donde a es el vector real y a_s es el vector estimado (mediante el método de pseudoinversa o bien mediante el algoritmo iterativo).

El valor medio y la desviación típica de ambos indicadores figuran en los cuadros E.1 y E.2.

Cuadro E.1/E.501 – Error Norm-2 (promedio ± desviación típica)

		Caso A (pérdida promedio ≅ 2,5%)	Caso B (pérdida promedio ≅ 7,1%)
Pseudoinversa		9,28 ± 0,26%	9,49 ± 0,28%
Algoritmo iterativo	Inicialización plana	8,33 ± 0,26%	8,95 ± 0,30%
	Inicialización según anexo E	5,84 ± 0,12%	6,57 ± 0,27%

Cuadro E.2/E.501 – Error Norm-infinity (promedio ± desviación típica)

		Caso A (pérdida promedio ≅ 2,5%)	Caso B (pérdida promedio ≅ 7,1%)
Pseudoinversa		212 ± 15%	237 ± 14%
Algoritmo iterativo	Inicialización plana	268 ± 22%	282 ± 21%
	Inicialización según anexo E	140 ± 10%	142 ± 11%

Aunque el error Norm-infinity es muy grande en ambos métodos, se refiere generalmente a bajas relaciones de tráfico.

El número promedio de iteraciones necesarias para llegar a una solución fue de 17,8 para la pérdida de 2,5% y de 20,2 para la pérdida de 7,1% (se interrumpió el algoritmo cuando la variación relativa introducida por una nueva iteración fue inferior a 10^{-4}).

Como puede comprobarse, con ambos métodos se logran resultados aceptables.

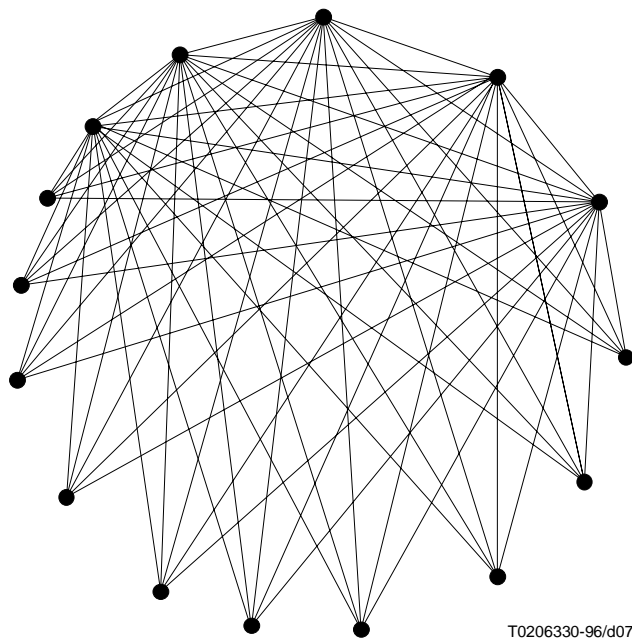


Figura E.1/E.501 – Topología de la red

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión 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 Z	Lenguajes de programación