Medición de la

Matriz de Distribución de Tráfico

en Redes de Encaminamiento Alternativo

(Ejercicio incluido)

Sr. H. Leijon, UIT

UNION INTERNATIONALE DES TELECOMMUNICATIONS
INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION
UNION INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

-

MEDICION DE LA MATRIZ DE DISTRIBUCION DE TRAFICO EN LAS REDES DE ENCAMINAMIENTO ALTERNATIVO

CONTENIDO:

1 INTRODUCCION

Para la planificación de redes multicentral debe conocerse la distribución de tráfico en la red, es decir, debe establecerse una matriz de tráfico. Esto se puede realizar mediante mediciones en la red existente, pero para redes con encaminamiento alternativo, mal grado de servicio y repetidos intentos de los abonados, es un trabajo difícil.

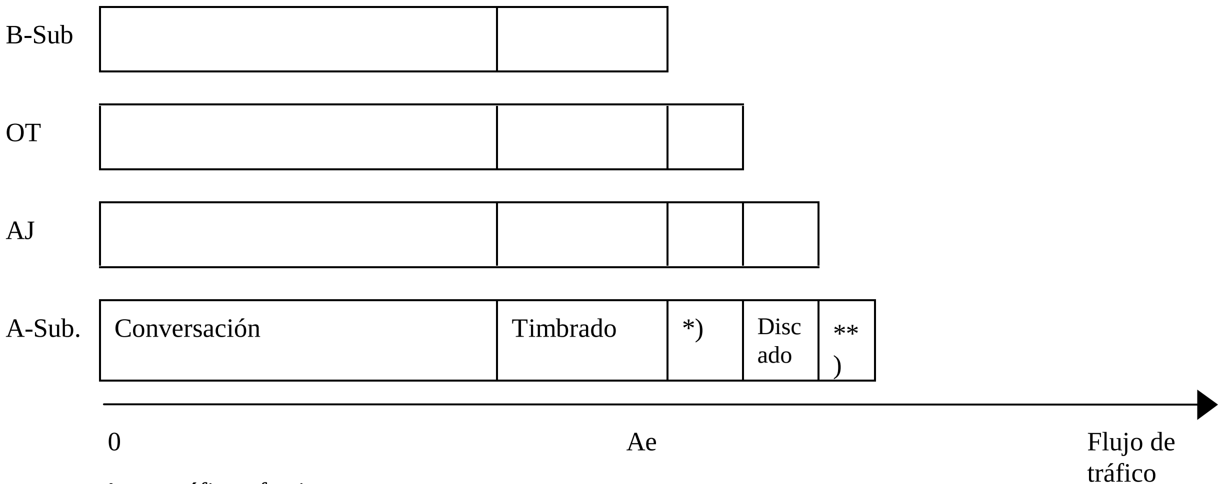
En la práctica, las cifras de tráfico en una matriz se miden usualmente de diferentes maneras, con equipos diferentes y con precisiones diferentes.

El alcance de este trabajo no es dar una lista de mediciones que deben realizarse, sino simplemente mostrar el uso óptimo de la información de medición disponible, dando más peso a las mediciones más precisas.

La matriz de tráfico de la que estamos tratando, es una matriz para un tráfico cursado “efectivo”. Tanto la conversación como la señal de llamada representan tráfico “efectivo”, el cual es común para los abonados A y B. El tráfico entre registradores y el tráfico PDD, “tráfico de señalización “, se excluyen. Ver la Figura 1.1. Usando esta convención, el tráfico de origen y el de destino en la red son iguales, como deben estar en una matriz.

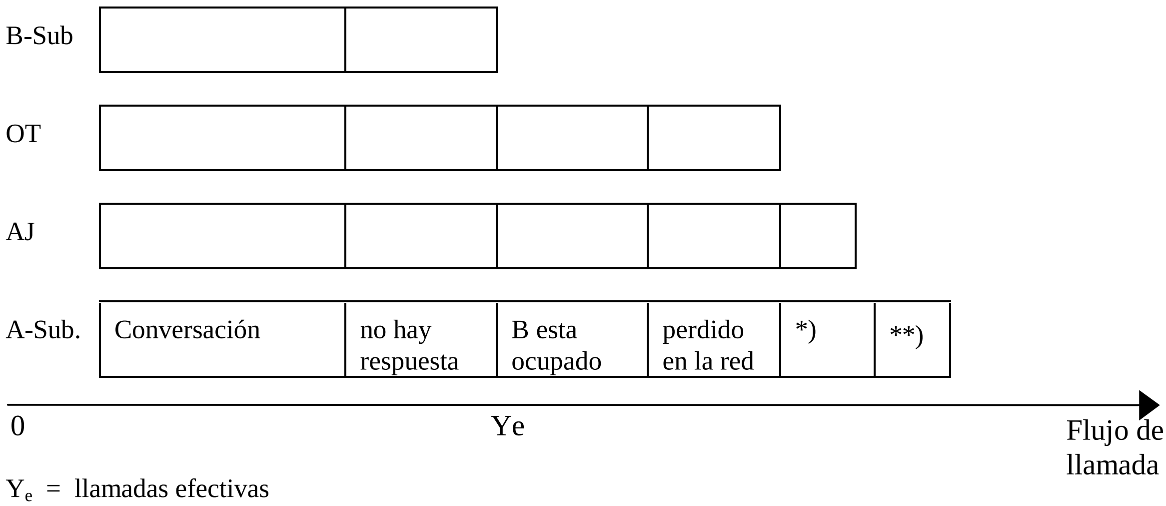
Cuando se usa la matriz para diseñar red y centrales, el tráfico de señalización debe agregarse por separado.

FLUJO DE TRAFICO



A_e = tráfico efectivo
* = demora postmarcación
** = espera del tono para marcar

FLUJO DE LLAMADA



Y_e = llamadas efectivas
*) = marcación incompleta
**) = congestión entre registradores

Figura 1.1

El presente trabajo cubre el uso de equipo ordinario para mediciones Erlang, equipo más o menos avanzado de análisis numérico y en algún grado el probador de rutas de tráfico.

Se asume que todas las mediciones se hacen simultáneamente durante horas pico, en temporadas pico.

La red tándem puede tener diseño arbitrario en varios niveles y se permiten centrales combinadas locales y tándem, aunque éstas no se utilizan en este trabajo.

Las centrales de tránsito para tráfico LD pueden tratarse como centrales locales ordinarias, considerando la analogía del mundo externo a los abonados de una central local (fuente y drenaje de tráfico).

Los métodos que usamos se ilustran con ejemplos y el uso de matemáticas se mantiene al mínimo.

La Figura 1.2 muestra el modelo de tráfico básico para una central local sin tráfico de tránsito.

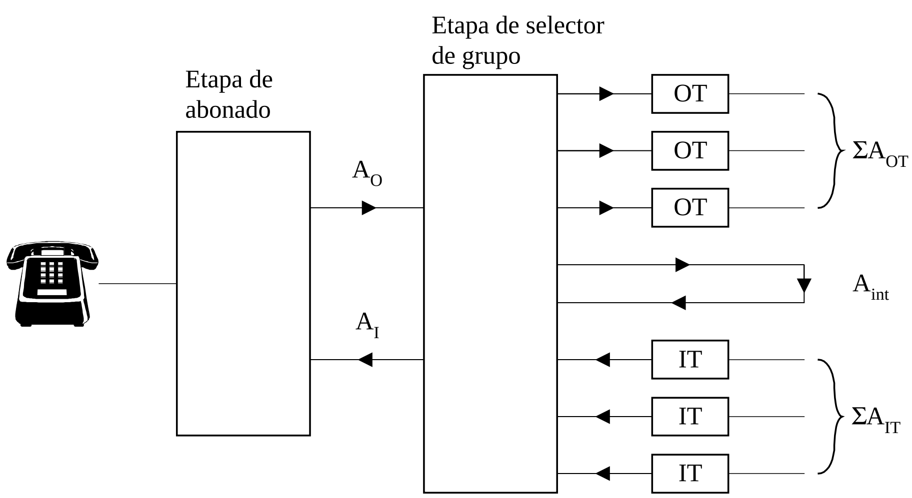


Figura 1.2

A_O = tráfico saliente

A_I = tráfico entrante

$$A_O = \Sigma A_{OT} + A_{int} \quad (1.1)$$

$$A_I = \Sigma S A_{IT} + A_{int} \quad (1.2)$$

Se excluye tráfico entre registradores..

Para todas las centrales locales y de tránsito juntas tenemos:

$$\Sigma A_{OT} = \Sigma A_{IT} \quad (1.3)$$

y

$$\Sigma A_O = \Sigma A_I \quad (1.4)$$

Para el propósito de este documento es necesario que las ecuaciones (1.1)-(1-4) se cumplan exactamente. En la práctica los resultados de medición tendrán pequeñas desviaciones, las cuales deben corregirse antes de comenzar los cálculos.

Una matriz de tráfico es una rejilla cuadrada con una fila y una columna por central. Una central se define como una fuente de tráfico y/o un drenaje de tráfico, por tanto, las centrales tándem no están representadas en la matriz. El valor de tráfico en la fila i y la columna j es el tráfico <u>desde</u> la central i<u> hacia</u> central j. El valor es independiente del encaminamiento, es decir, que el tráfico pase o no por tándem. La suma de tráficos en la fila i es el tráfico de origen total A_o en la central nr i y la suma de tráficos en la columna j es el total del tráfico de destino A_I en la central nr j.

En la matriz también se puede dar información de encaminamiento. D significa ruta de baja pérdida directa, H significa encaminamiento de alto uso con desbordamiento sobre el tándem y T significa encaminamiento en tándem puro, es decir, las dos centrales no tienen circuitos directos entre sí.

Ahora se describirá brevemente la configuración de la matriz de tráfico.

1. Se conoce el número de centrales, el encaminamiento entre ellas y los tráficos cursados en todas las rutas. Entonces puede trazarse la matriz en rejilla, pueden ponerse las letras de encaminamiento en la matriz de encaminamiento y las sumas de filas y columnas en la matriz de tráfico.

   También todos los tráficos D (encaminamiento de baja pérdida directa) pueden ponerse en la matriz de tráfico, la cual está ahora parcialmente llena.

2. Para los casos H se conoce el tráfico cursado en la ruta de alto uso y el tráfico de desbordamiento se halla en principio desde la congestión medida o calculada en la ruta H. Ver la sección 2. Así, el tráfico total $A_H = A_h + A_t$ para los casos H pueden llenarse dentro de la matriz.

3. Los tráficos en los casos T restantes se calculan fila por fila, usando las sumas de filas dadas y los tráficos D y H ya calculados. El total de tráfico T ΣA_T en una fila es el tráficoque <u>no </u>pertenece a los casos D y H. Es decir,

   $$\sum A_T = A_0 - \sum A_D - \sum A_H$$

   Esta suma de tráfico se distribuye luego en las centrales de destino apropiadas en proporción, por ejemplo, a las tasas de llamadas a estas centrales. Ver la sección 3. Este procedimiento se repite para cada fila que contenga los tráficos T.

4. Ahora la matriz está completamente llena, pero probablemente el contenido difiera más o menos de las sumas de filas y columnas prescritas (medidas con buena precisión). Obviamente la matriz es más bien aproximada, deben hacérsele correcciones y éstas deben ser hacerse de preferencia sobre los datos de tráfico de mayor incertidumbre.

Aquí asumimos qué valores A_T han de ser los "peores" y cuáles A_D han de ser los "mejores". La sección 4 describe cómo esta corrección ponderada puede hacerse usando una variación del método Kruithof.

2. TRAFICO DE ALTO USO

2.1 Ideas Básicas

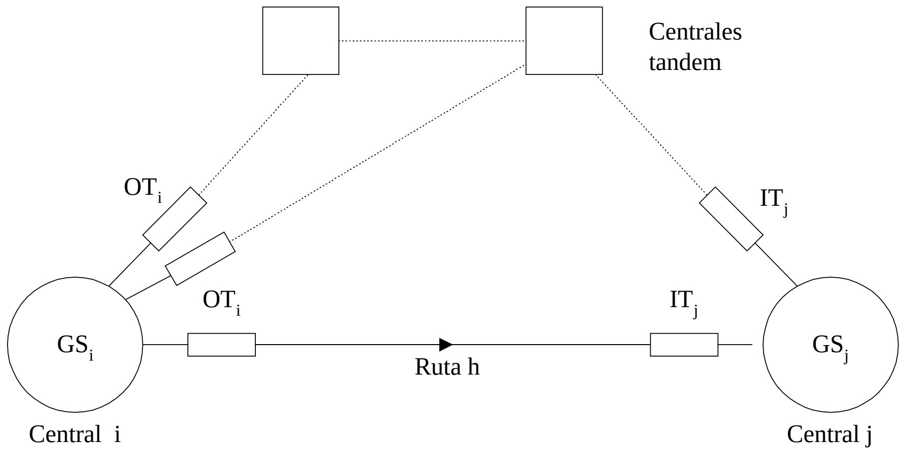


Figura 2.1

La figura 2.1 muestra un típico arreglo de encaminamiento alternativo. Las llamadas a la central j se ofrecen primero a la ruta h (de alto uso) y eventualmente desbordan la red tándem.

Considere una hora de medición. Durante esta hora Y llamadas se ofrecen a la ruta h y Y_h llamadas terminan en toma.

$$Y_h = Y\,(1\text{-}B_h)$$

B_h es el bloqueo en la ruta h. Las llamadas congestionadas $Y\,B_h$ van a la red tándem y con un bloqueo B_t en esta red, el número

$$Y \cdot B_h \cdot (1 - B_t)$$

llega a IT_j.

En total Y_H llamadas llegan a IT_j desde OT_I

$$Y_H = Y \cdot (1 - B_h) + Y \cdot B_h \cdot (1 - B_t) \text{ or } Y_H = Y \cdot (1 - B_h) \cdot \frac{1 - B_h \cdot B_t}{1 - B_h} \tag{2.1}$$

Todas estas llamadas llegan a IT y sus tiempos de ocupación son determinados exclusivamente por su destino en la central j (y por la central i) pero no por su encaminamiento entre i y j. Usando la ecuación (2.1) y el tiempo de ocupación s encontramos un tráfico cursado de:

$$A_H = s \cdot Y_H = s \cdot Y \cdot (1 - B_h) \cdot \frac{1 - B_h \cdot B_t}{1 - B_h} \text{ or } A_H = A_h \cdot \frac{1 - B_h \cdot B_t}{1 - B_h} \tag{2.2}$$

donde A_h es el tráfico cursado en la ruta h y $B_h \cdot B_t$ es la congestión resultante desde la entrada GV en la central i hacia la entrada GS (IT_j) en la central j.

Observe que la ecuación (2.2) sólo requiere medición del flujo de tráfico (TKT) y de los rechazos mientras el tiempo de ocupación desaparece en los cálculos.

Para uso posterior escribiremos el total del tráfico cursado entre las centrales i y j como una suma del tráfico de alto uso A_h del tráfico en tándem A_t, es decir,

$$A_H = A_h + A_t \tag{2.3}$$

En los cálculos anteriores, ambos, los tiempos de ocupación para llamadas bloqueadas y para las demoras postmarcación se asume que son cero.

3. DISTRIBUCION DE TRAFICO PROPORCIONAL

Una matriz de tráfico está formada por un número de filas (vectores), cada fila dando la distribución del tráfico originado hacia una central individual. Algunos de los elementos A_D y A_H de la fila se hallan mediante la medición directa y los otros A_T mediante la realización de una distribución proporcional de su suma.

$$A_T = A_0 - \Sigma A_D - \Sigma A_H$$

Pueden usarse diferentes aproximaciones. La más sencilla es usar los tráficos de destino como factores proporcionales.

Suponga que la central No. 1 tiene un tráfico de origen total A_o =500 erl y de esto, 300 erl es tráfico D o H, es decir, A_T =500-300= 200 erl. Estos 200 erl se dividirán entre las centrales 2, 5 y 8 las cuales son las únicas centrales a las cuales no hay circuitos directos. Sus tráficos de destino son:

$$A_{12} = 200 \ erl$$

$$A_{15} = 600 \ erl$$

$$A_{18} = 1100 \ erl$$

y los tráficos desde la central 1 se calculan como

$$A_{12} = 200 \cdot \frac{200}{200+600+1100} = 21 \ \ erl$$

$$A_{15} = 600 \cdot \frac{200}{200+600+1100} = 63 \ \ erl$$

$$A_{18} = 1100 \cdot \frac{200}{200+600+1100} = 116 \ \ erl$$

Otro método es usar las tasas de llamadas como factores proporcionales. Con el mismo ejemplo anterior tenemos, por ejemplo

$$Y_{12} = 7000 \ \ c/h \qquad A_{12} = 7000 \cdot \frac{200}{7000+18000+35000} = 23 \ \ erl$$

$$Y_{15} = 18000 \ \ c/h \qquad A_{15} = 18000 \cdot \frac{200}{7000+18000+35000} = 60 \ \ erl$$

$$Y_{18} = 35000 \ \ c/h \qquad A_{18} = 35000 \ \cdot \frac{200}{7000+18000+35000} = 117 \ \ erl$$

Si h tiempos medios de ocupación en diferentes direcciones son muy distintos, valdría la pena estimar h y usar los valores proporcionales.

$Y_{12}\, h_{12}$, $Y_{15}\, h_{15}$ y $Y_{18}\, h_{18}$

en vez de Y_{12} , Y_{15} y Y_{18}

La elección del método depende del equipo de medición disponible.

4. METODOS DE KRUITHOF

4.1 Método clásico

Al formar matrices de tráfico el problema que suele surgir es que el contenido de la matriz, es decir, los elementos individuales no coinciden con las sumas prescritas de filas y de columnas, esto es, los totales de los tráficos de origen y de destino. La Figura 4.1 muestra un ejemplo.

	i ↷ j	1	2	3	suma es	suma debe ser
	1	5	8	10	23	25
	2	2	25	15	42	35
	3	6	3	2	11	15
suma	es	13	36	27	76	—
	debe ser	18	30	27	—	75

Figura 4.1

Los ingenieros Kruithof y Furness han propuesto una solución sencilla a este problema.

Mediante la multiplicación alterna de filas y columnas por factores apropiados, las sumas de filas y columnas se hacen alternativamente correctas. Después de varios pasos, tanto la suma de filas como de columnas son correctas.

En el ejemplo de la Figura 4.1 las tres filas están multiplicadas por los factores 25/23, 35/42 15/11 respectivamente, dando así una matriz como la de la Figura 4.2.

	i ↷ j	1	2	3	suma es	suma debe ser
	1	5.4	8.7	10.9	25.0	25
	2	1.7	20.8	12.5	35.0	35
	3	8.2	4.1	2.7	15.0	15
suma	es	15.3	33.6	26.1	75.0	—
	debe ser	18	30	27	—	75

Figura 4.2

La próxima vez, las columnas se multiplican por 18/15.3, 30/33.6 y 27/26.1 dando así la matriz de la Figura 4.3

	i ↷ j	1	2	3	suma es	suma debe ser
	1	6.4	7.8	11.3	25.5	25
	2	2.0	18.6	12.9	33.5	35
	3	9.6	3.7	2.8	16.1	15
suma	es	18	30.1	27.0	75.1	—
	debe ser	18	30	27	—	75

Figura 4.3

Después de tres iteraciones más, el resultado es como la fig. 4.4, la cual es una matriz muy similar a la original, pero con sumas correctas de filas y columnas.

	i ↷ j	1	2	3	suma es	suma debe ser
	1	6.5	7.5	11.0	25.0	25
	2	2.2	19.3	13.5	35.0	35
	3	9.2	3.3	2.6	15.0	15
suma	es	17.8	30.1	27.1	75.0	—
	debe ser	18	30	27	—	75

Figura 4.4

Generalmente el método Kruithof tiene la propiedad de remover imposibilidades físicas y errores sistemáticos de la matriz, mientras los errores aleatorios en matrices grandes son casi inafectados.

4.2 Método de Kruithof Modificado

En las operaciones descritas anteriormente todos los elementos de la matriz han sido más o menos cambiados. En la práctica esto puede ser indeseable si se sabe que algunos de los elementos son más bien correctos desde el principio.

Generalmente la matriz de la Figura 4.1 es un resultado de mediciones más o menos exactas y, con conocimiento de la precisión de cada elemento, es posible establecer un límite más bajo para el valor del elemento. Por ejemplo, para los casos H el elemento es $A_H = A_h + A_t$ y su limite más bajo podría ponerse en $A_{Hm} = A_h + 0.3\ A_t$, asumiendo que el verdadero tráfico de desbordamiento no es menor que el 30% del A estimado. Para los casos D podría usarse un límite de $A_{Dm} = 0.95\ A_D$ y para los casos T, el límite podría ser $A_{Tm} = 0.6\ A_T$.

Entonces, la adaptación de Kruithof debería hacerse con la condición adicional que ningún elemento se cambie a un valor menor que su valor mínimo previamente asignado.

Esta condición puede cumplirse eliminando los valores mínimos de la matriz antes de la "adaptación de Kruithof" y regresándolos después de la adaptación. El principio se muestra mediante un ejemplo. La matriz de la fig. 4.1 está rescrita con ambos, los valores asumidos y los valores mínimos dados. Ver Fig. 4.5.

	i ↷ j	1	2	3	suma es	suma debe ser
	1	$^{5}/_{4.9}$	$^{8}/_{7.8}$	$^{10}/_{5.0}$	$^{23}/_{17.7}$	$^{25}/_{17.7}$
	2	$^{2}/_{1.8}$	$^{25}/_{20.0}$	$^{15}/_{12.0}$	$^{42}/_{33.8}$	$^{35}/_{33.8}$
	3	$^{6}/_{4.0}$	$^{3}/_{2.0}$	$^{2}/_{1.2}$	$^{11}/_{7.2}$	$^{15}/_{7.2}$
suma	es	$^{13}/_{10.7}$	$^{36}/_{29.8}$	$^{27}/_{18.2}$	$^{76}/_{58.7}$	———
	debe ser	$^{18}/_{10.7}$	$^{30}/_{29.8}$	$^{27}/_{18.2}$	———	$^{75}/_{58.7}$

Figura 4.5

Ahora la matriz mínima se resta de la matriz “asumida” y la matriz sobrante “de trabajo”, sujeta a la adaptación de Kruithof, es como la Figura 4.6.

					suma	
	i j	1	2	3	es	debe ser
	1	0.1	0.2	5.0	5.3	7.3
	2	0.2	5.0	3.0	8.2	1.2
	3	2.0	1.0	0.8	3.8	7.8
suma	es	2.3	6.2	8.8	17.3	—
	debe ser	7.3	0.2	8.8	—	16.3

Figura 4.6

Después de 13 pasos iterativos * la matriz se transforma en la Figura 4.7.

					suma	
	i j	1	2	3	es	debe ser
	1	0.4	0.0	6.9	7.3	7.3
	2	0.2	0.1	0.9	1.2	1.2
	3	6.7	0.1	1.0	7.8	7.8
suma	es	7.3	0.2	8.8	16.3	—
	debe ser	7.3	0.2	8.8	—	16.3

Figura 4.7

y la matriz de trabajo y la matriz mínima se suman para formar la matriz de tráfico requerido. Ver Figura 4.8.

					suma	
	i j	1	2	3	es	debe ser
	1	5.3	7.8	11.9	25.0	25
	2	2.0	20.1	12.9	35.0	35
	3	10.7	2.1	2.2	15.0	15
suma	es	18.0	30,0	27.1	75.0	—
	debe ser	18	30	27	—	75

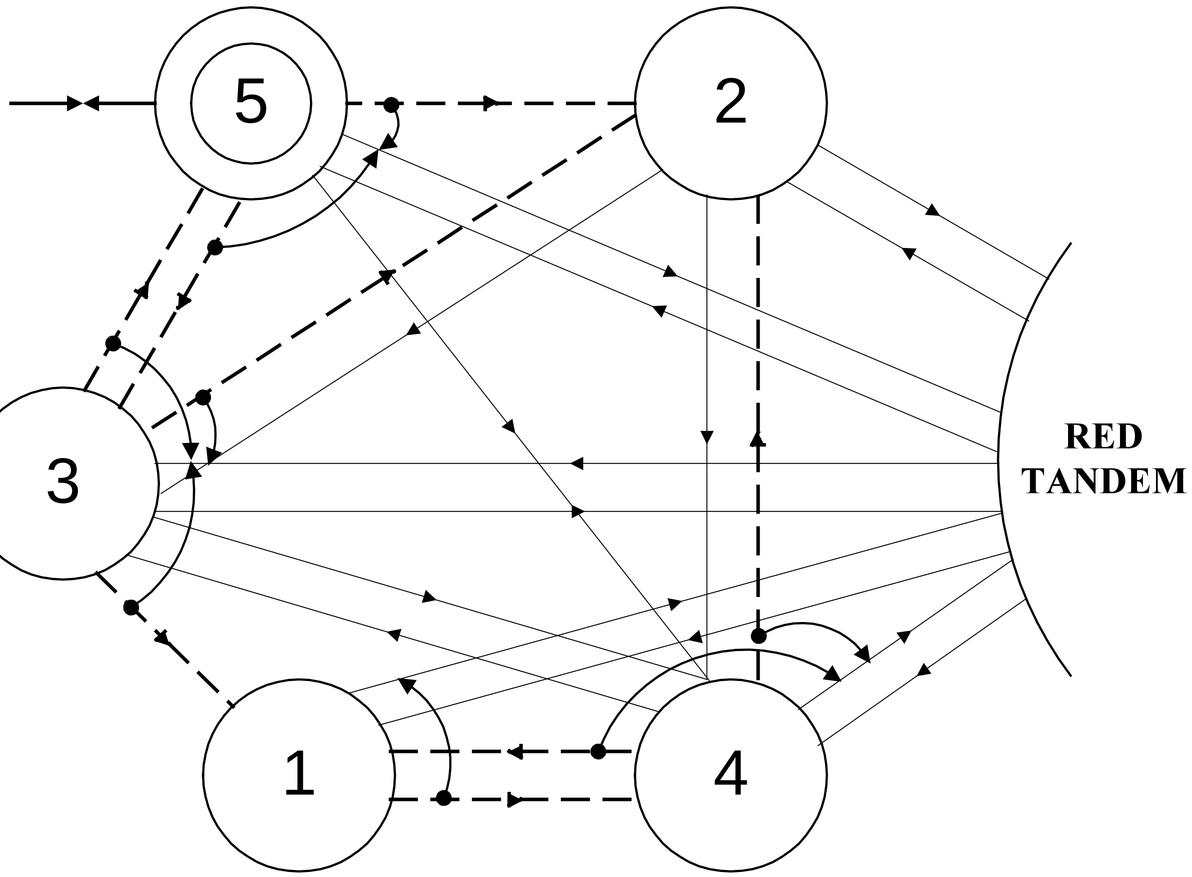
Figura 4.8

Comparados con la matriz de la Fig. 4.4, se ve que los valores (i, j) = (1,2) y (2,2) se mantienen ahora en o por encima de su mínimo prescrito de 7.8 y 20.0 respectivamente.

*) Se requieren muchos pasos debido a la falta de coincidencia entre los valores “es” y “debe ser”.

5) EJEMPLO

Se formará la matriz de tráfico para una red de encaminamiento alternativo (área urbana), consistente en cuatro centrales locales, una central de tránsito conectada a la red ordinaria local y un número arbitrario de centrales tándem.



Matriz de encaminamiento:

de i \ a j	1	2	3	4	5
1	(D)	T	T	H	T
2	T	(D)	D	D	T
3	H	H	(D)	D	H
4	H	H	D	(D)	D
5	T	H	H	D	——

Figura 5.1

Número de central	Tipo de central.	No. de líneas principales	Tráfico de origen A_O	Tráfico de destino A_I	Tráfico interno
1	XBAR	4000	292	221	35
2	SXS	5000	318	265	48
3	XBAR	7000	421	398	95
4	XBAR	10.000	496	690	186
5	XBAR (LD)	———	229	182	———

Tráficos de ruta grabada:

Ruta	Tráfico	Ruta	Tráficoc
1 → 4	102	4 → 1	55
2 → 3	70	4 → 2	60
2 → 4	115	4 → 3	115
3 → 1	40	4 → 5	60
3 → 2	61	5 → 2	30
3 → 4	157	5 → 3	50
3 → 5	50	5 → 4	103

La central no. 1 está provista con equipo de análisis numérico.	1386 c/h a la central. no 2
	2299 c/h a la central no 3
Las intensidades de llamada relativas a las direcciones se han estimado en::	1116 c/h a la central no 5
	4801 c/h

Se mide la congestión en las rutas de alto uso. Se estima la congestión por caso de tráfico, por ejemplo, por el uso de probadores de ruta de tráfico, etc.

No. de ruta respecto	Congestión en %		No. de ruta respecto	Congestión en %	
Caso de Tráfico	Ruta de alto uso, B_h	Punto a punto, B_h-B_t	Caso de Tráfico	Ruta de alto uso, B_h	Punto a punto, $B_h \bullet B_t$
1 → 4	16.5	5	4 → 1	15.0	6
3 → 1	20.0	4	4 → 2	16.7	3
3 → 2	9.3	5	5 → 2	17.4	4
3 → 5	11.9	7	5 → 3	17.5	9

Figura 5.2

A Desde	1	2	3	4	5	A_O
1 Encaminamiento Tráfico estimado Tráfico mínimo						
2 Encaminamiento Tráfico estimado Tráfico mínimo						
3 Encaminamiento Tráfico estimado Tráfico mínimo						
4 Encaminamiento Tráfico estimado Tráfico mínimo						
5 Encaminamiento Tráfico estimado Tráfico mínimo						
Tráfico de destino, A_I						

i \ j	1	2	3	4	5	SUMA	
						es	DEBE SER
1							
2							
3							
4							
5							
SUMA es							
SUMA DEBE SER							

i \ j	1	2	3	4	5	SUMA	
						es	DEBE SER
1							
2							
3							
4							
5							
SUMA es							
SUMA DEBE SER							

i \ j	1	2	3	4	5	SUMA	
						es	DEBE SER
1							
2							
3							
4							
5							
SUMA es							
SUMA DEBE SER							

j / i	1	2	3	4	5	SUMA es	SUMA DEBE SER
1							
2							
3							
4							
5							
SUMA es							
SUMA DEBE SER							

j / i	1	2	3	4	5	$\mathbf{A_0 - \Sigma A_m}$
1						
2						
3						
4						
5						
$\mathbf{A_0 - \Sigma A_m}$						

j / i	1	2	3	4	5	A_O
1						
2						
3						
4						
5						
A_I						