

ESCUELA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TEORÍA DE REDES Y CONMUTACIÓN

Informe

Diego Prieto Carrete

Axel Valladares Pazó

Pedro Otero Rivas

Vigo
2 de abril de 2023

Índice

1	Enunciado	2
2	Manual de uso del código proporcionado	3
3	Encaminamiento I	3
3.1	Estudio analítico	3
3.2	Simulación	5
3.2.1	Rango de i inicial	5
3.2.2	Rango de i extendido	6
4	Encaminamiento II	7
4.1	Simulación	7
4.1.1	Rango de i inicial	8
4.1.2	Rango de i extendido	9
5	Encaminamiento III	10
5.1	Simulación	10
5.1.1	Rango de i inicial	11
5.1.2	Rango de i extendido	12
6	Apéndices	13

1. Enunciado

Una empresa dedicada a dar servicio de acceso a Internet mediante una flota de satélites de órbita baja intercomunicados mediante enlaces láser, está estudiando desplegar un servicio enfocado a empresas de tal manera que éstas puedan solicitar enlaces virtuales bidireccionales entre dos ubicaciones con una capacidad garantizada por el tiempo de mantenimiento de los mismos en caso de ser aceptada la solicitud; se prevé que en caso de no ser aceptada dicha solicitud las empresas derivarán el tráfico asociado a esa comunicación a la red terrestre. Para un primer estudio del servicio, se trabajará con un modelo simplificado de la red, donde se soslaya el traspaso de estaciones terrestres entre satélites así como de las rutas para la conexión entre ellos, es decir, se evaluará una situación con clientes y satélites considerados estáticos. Se considerará que cada satélite mantendrá enlace láser con los cuatro satélites de la red más próximos en dos direcciones aproximadamente perpendiculares, formando así una estructura de cuadrícula, con un satélite en cada vértice. Con estas premisas, se realizarán una serie de estudios sobre el servicio garantizado, en los que se asumirán las siguientes limitaciones:

- De los enlaces láser entre satélites sólo se reservarán 2 Gb/s para el servicio garantizado en cada sentido.
- El servicio garantizado supone un máximo de 40 Mb/s en cada sentido por conexión.
- El tiempo medio de vida de las conexiones solicitadas se estima en $S = 120$ s

En un lanzamiento inicial del servicio es previsible que los servidores de las empresas estén localizados en una zona geográfica reducida, por lo que se considera que las solicitudes del servicio se realizan dentro de las ubicaciones cubiertas por 4 satélites adyacentes (satélites A a D en la figura). En los estudios, se considerará elevado el número de terminales cubiertos por cada satélite. Se estudiará para cada conjunto de tráficos sufriendo la misma probabilidad de bloqueo, el tráfico cursado en función del tráfico ofrecido, representándolo gráficamente. Se realizarán los estudios considerando que terminales bajo la cobertura de un par de satélites cualquiera realizan peticiones de conexiones entre sí a una velocidad media $\lambda = \frac{r \cdot 25}{5}$ peticiones por segundo, la mitad en cada sentido. Con el fin de adaptar el requisito sobre el B estimado al intervalo de confianza de los tráficos cursados a representar, el criterio de parada en cada simulación será el cumplir con un requisito de intervalo de confianza de calidad 0,95 e intervalo de tolerancia relativa t variable dentro de cada experimento de la siguiente forma:

- Paso 0: $r_0 = 1 \rightarrow t = 0002$,
- Paso i : $r_i = (1 - 0,04 \cdot i) \rightarrow t = \min(1, \frac{1-B_{i-1}}{B_{i-1}})$

con B_i el máximo sufrido por los tráficos de la simulación i -ésima. Se simulará hasta $i = 5$, inclusive.

2. Manual de uso del código proporcionado

Para obtener los resultados de la simulación se diseñó un script en python encargado de generar los archivos de entrada .cfg de SimRedMMKK, procesar los datos de salida e introducirlos en el archivo de configuración de gnuplot para la obtención de las gráficas.

Tras ejecutar `python3 script.py` se nos pedirá que introduzcamos los siguientes valores:

- Iteraciones: Rango de valores para las iteraciones de $i(0/5$ o $-10/5$, el primero para la opción básica y el segundo para la opcional)
- m: Recursos reservados (50)
- S: Tiempo de servicio demandado (120 segundos)
- q: Intervalo de confianza (0.95)
- seed: Valor de semilla (25)

Una vez termine de ejecutarse el script se generarán, dentro de la carpeta gnuplot, la gráfica correspondiente a los tráficos de un y dos saltos y otra gráfica representando el tráfico total, es decir, la contribución total tanto del tráfico de un salto como del de dos saltos.

En estas gráficas se representa el tráfico cursado frente al tráfico total junto con un marcador por cada punto de la gráfica con los valores mínimos y máximos calculados a partir de los intervalos de confianza obtenidos del simulador.

Nota: En la gráfica que contine el tráfico de uno y dos saltos, este ultimo está duplicado, para así poder apreciar mejor la contribución de los dos tráficos, de dos saltos, que pasan por cada enlace, frente al tráfico de un solo salto.

3. Encaminamiento I

Considerando que los satélites usan las siguientes reglas de encaminamiento de las peticiones de conexión de servicio garantizado:

1. De existir una ruta única corta (1 salto entre satélites), sólo se intenta por ésta.
2. De existir dos rutas cortas (2 saltos), se intenta por la ruta dextrógira ($A \rightarrow B, B \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow A$).

Se pide realizar el estudio tanto analítico como mediante simulación del sistema.

3.1. Estudio analítico

Para el estudio de los diferentes valores del tráfico cursado se realizará de forma analítica el estudio de los diferentes tráficos para valores de i entre 0 y 5.

- $i = 0$:

Como primer paso se calcula el valor de r para $i = 0$ a partir del cual obtendremos los valores de tráfico.

$$r_0 = (1 - 0,04 \cdot i) = 1 \quad (1)$$

Para el cálculo del valor de tolerancia utilizado en el simulador emplearemos la siguiente formula, aunque no es necesaria para el cálculo analítico.

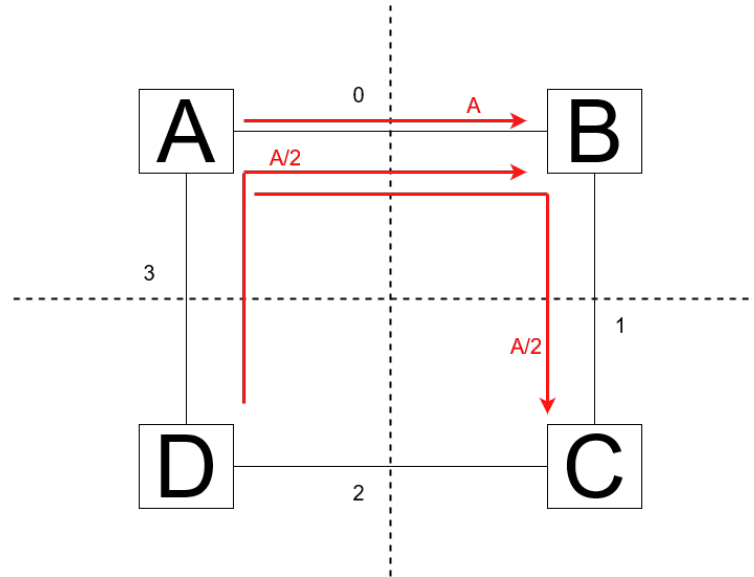
$$t = \min(1, \frac{1 - B_{i-1}}{B_{i-1}}) \quad (2)$$

Calculamos el valor de tráfico a partir del valor de r obtenido en la recursión y el tiempo de servicio demandado.

$$A = \lambda \cdot S = \frac{25 \cdot r}{S} \cdot S = 25 \cdot 1 = 25 \quad (3)$$

Calculamos el tráfico total en el enlace a partir de la contribuciones de los distintos tráficos.

$$A_T = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 50$$



Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de un salto:

$$B_{1salto} = 1 - P[N_a(Y) < m_a] = 1 - (1 - E(m_a, A_T)) = 0,1047 \quad (4)$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de dos saltos:

$$B_{2saltos} = 1 - (P[N_1(Y) < m] \cdot P[N_2(Y) < m / N_1(Y) < m]) \quad (5)$$

$$= 1 - ((1 - E(m, A_T)) \cdot (1 - E(m, A_T)))$$

$$= 2 \cdot E(m, A_T) - E(m, A_T)^2 = 0,1984$$

Una vez tenemos todas las probabilidades de bloqueo para los diferentes tráficos, podemos calcular el tráfico cursado a partir de estos valores.

$$A_{c1} = A \cdot (1 - B_{1salto}) = A \cdot (1 - 0,1047) = 22,3825$$

$$A_{c2} = \frac{A}{2} \cdot (1 - B_{2saltos}) = \frac{A}{2} \cdot (1 - 0,1984) = 10,02$$

$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2} + A_{c2} = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 42,4225$$

Para el resto de valores de i (1 a 5) ir a apéndices.

3.2. Simulación

En la simulación del primer encaminamiento se han obtenido, para el rango inicial (0 a 5) y extendido (-10 a 5) de i , las siguientes graficas:

3.2.1. Rango de i inicial

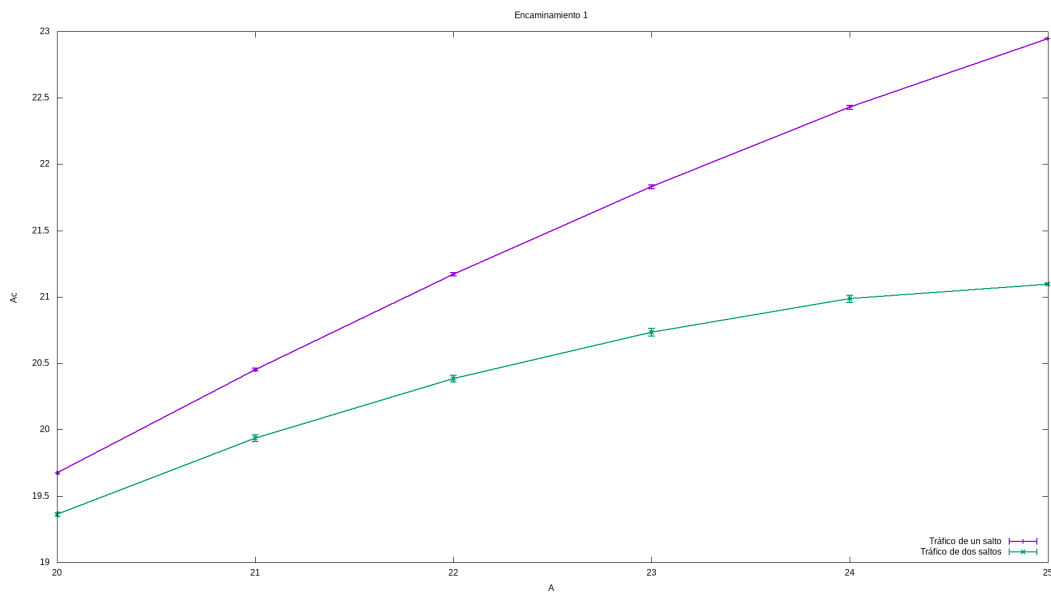


Figura 1: Gráfica de tráficos de un salto (morado) y de dos saltos (verde)

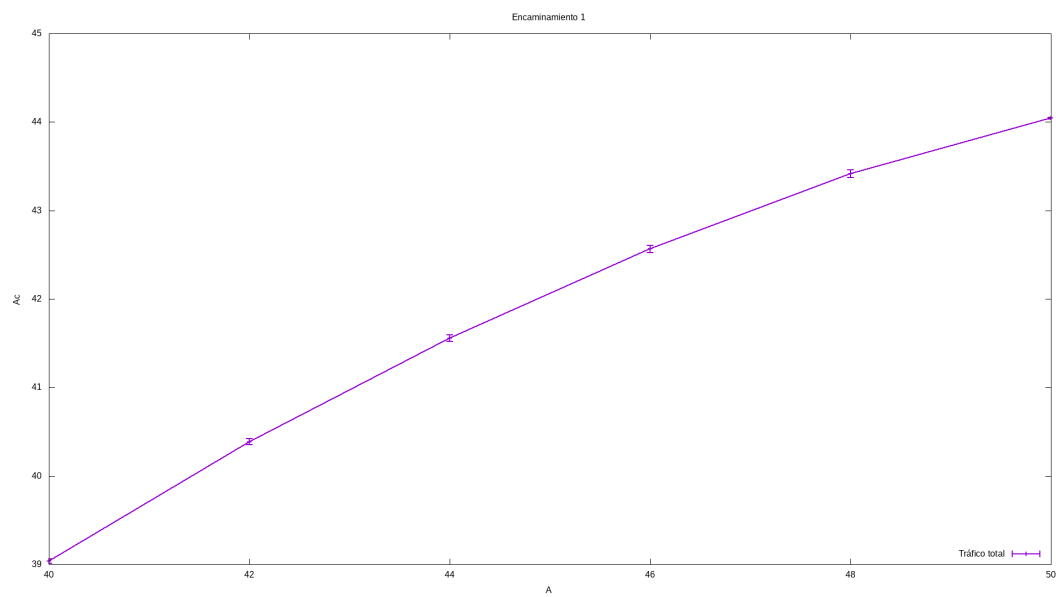


Figura 2: Gráfica de tráfico total

3.2.2. Rango de i extendido

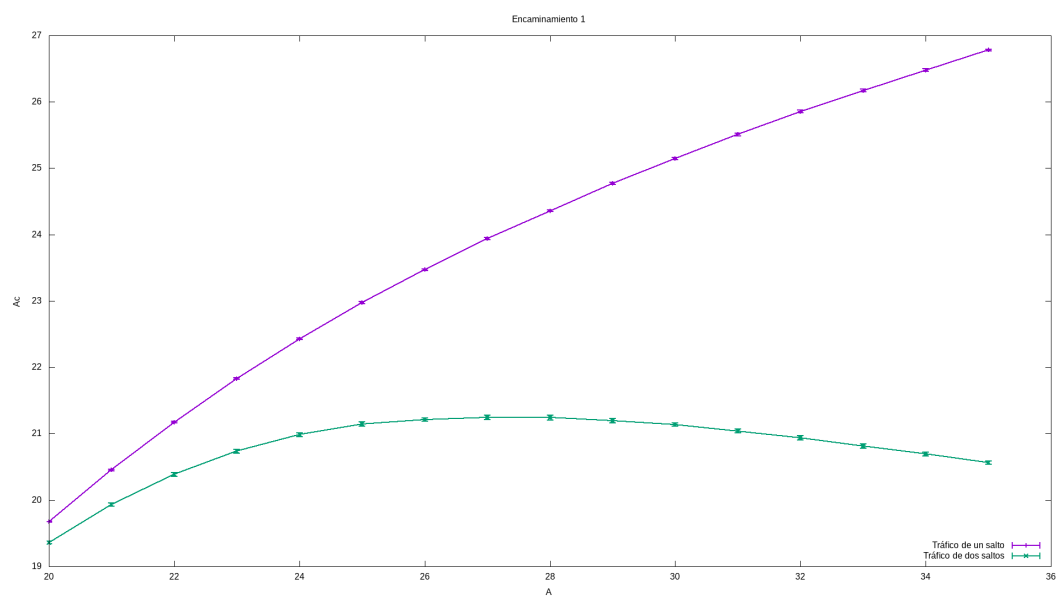


Figura 3: Gráfica de tráfico de un salto (morado) y de dos saltos (verde)

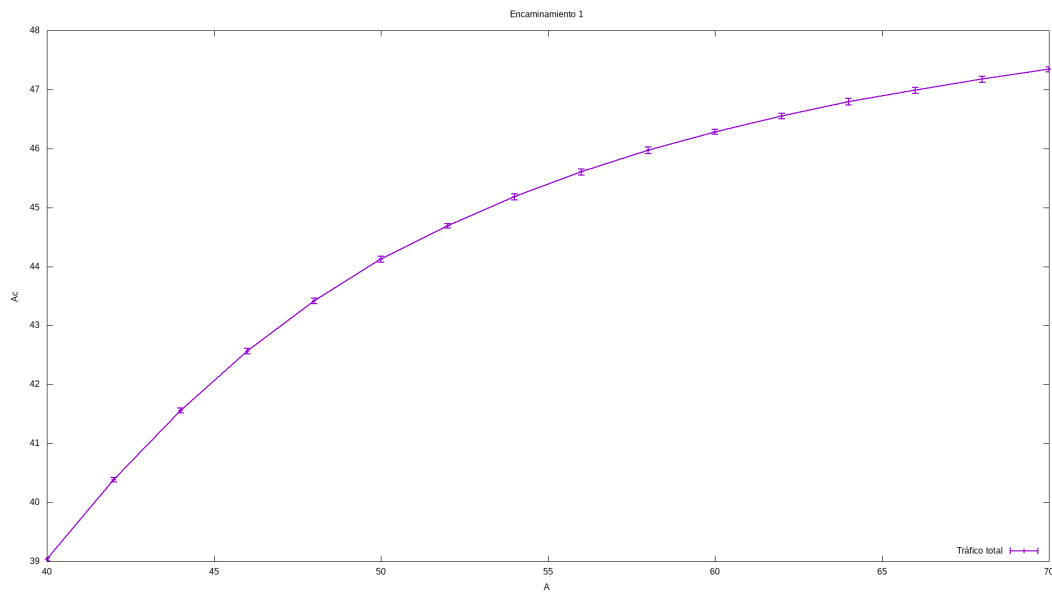


Figura 4: Gráfica de tráfico total

4. Encaminamiento II

Considerando que los satélites usan las siguientes reglas de encaminamiento de las peticiones de conexión de servicio garantizado:

1. De existir una ruta única corta (1 salto entre satélites), sólo se intenta por ésta.
2. De existir dos rutas cortas (2 saltos):
 - a) 1o se intenta por la dextrógira.
 - b) 2o se intenta por la levógira ($A \rightarrow D$, $D \rightarrow C$, $C \rightarrow B$, $B \rightarrow A$).

Se pide realizar el estudio mediante simulación.

4.1. Simulación

Para la simulación de este encaminamiento se ha modificado el script encargado de generar el archivo de configuración del simulador de tal manera que cumpla los requisitos especificados.

Para ello, se le ha indicado al simulador en el correspondiente fichero .cfg, las nuevas rutas que deben realizar los tráficos de dos saltos en caso de no poder hacerlo por la ruta dextrógira. En el caso del tráfico de A a C se ha modificado la línea que define las rutas y los enlaces que recorriera tal como:

- 0,1 3,2 b \rightarrow siendo 0,1 los enlaces de la ruta dextrógira, y 3,2 los enlaces por los que debe encaminar el tráfico en caso de no poder hacerlo por el 0,1.

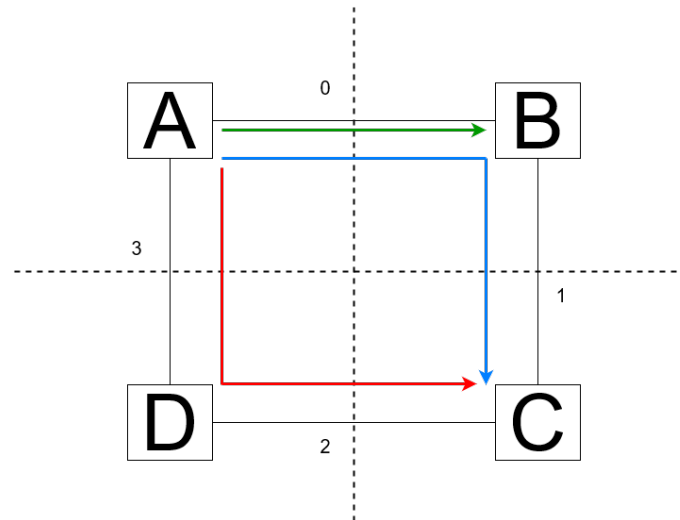


Figura 5: Diagrama de tráfico del encaminamiento II

De esta manera conseguimos que el simulador, si devuelve un cero al intentar la ruta dextrógira (ruta azul), lo intente por la levógira (ruta roja), especificándole una segunda ruta para los tráfico de segundo salto. Para el encaminamiento de satélites contiguos se utiliza la ruta de un salto (ruta verde).

En la simulación del segundo encaminamiento se han obtenido, para el rango inicial (0 a 5) y extendido (-10 a 5) de i , unas gráficas en las que se puede apreciar que, con respecto al encaminamiento uno, el tráfico cursado de dos saltos se incrementa considerablemente. Esto es debido a que, en caso de no poder seguir la ruta dextrógira, no se bloquea, sino que lo reintenta por la levógira, aumentando de esta manera el tráfico cursado de dos saltos.

4.1.1. Rango de i inicial

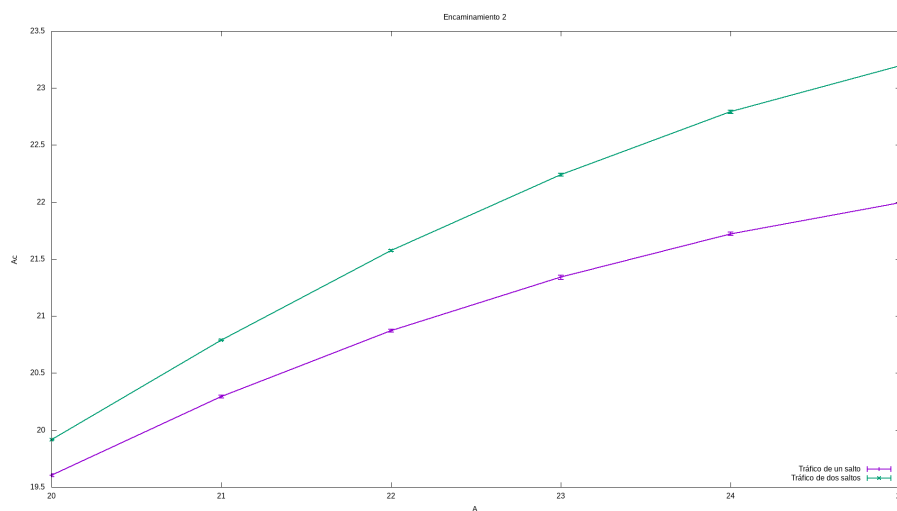


Figura 6: Gráfica de tráfico de un salto (morado) y de dos saltos (verde)

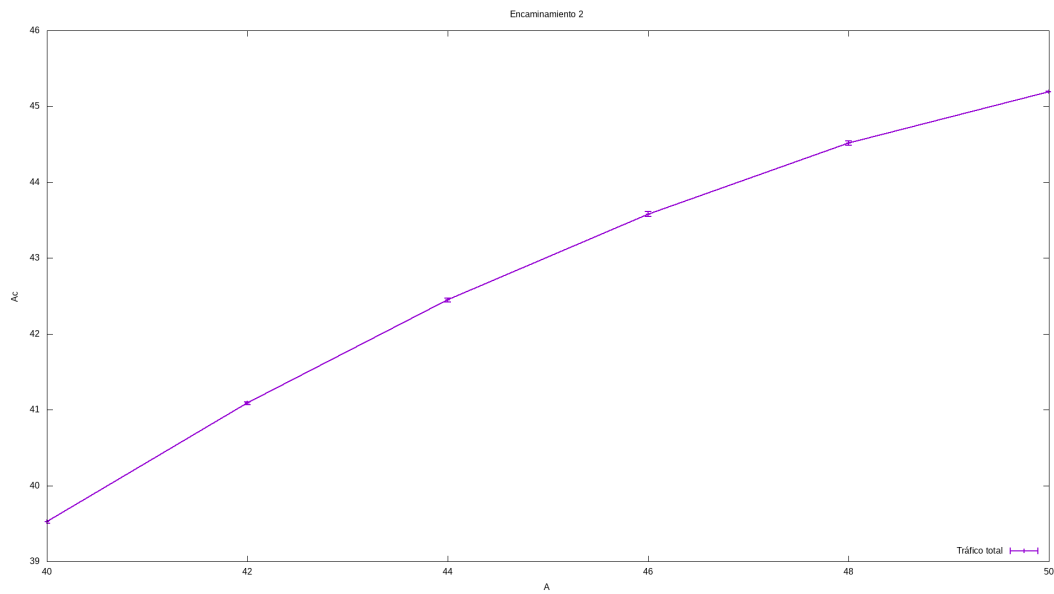


Figura 7: Gráfica de tráfico total

4.1.2. Rango de i extendido

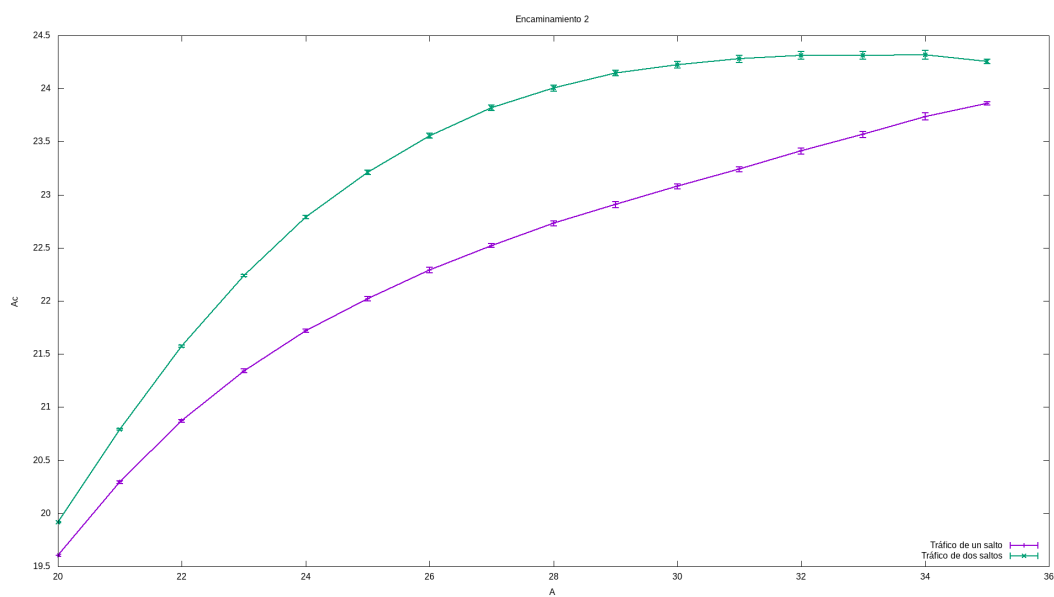


Figura 8: Gráfica de tráfico de un salto (morado) y de dos saltos (verde)

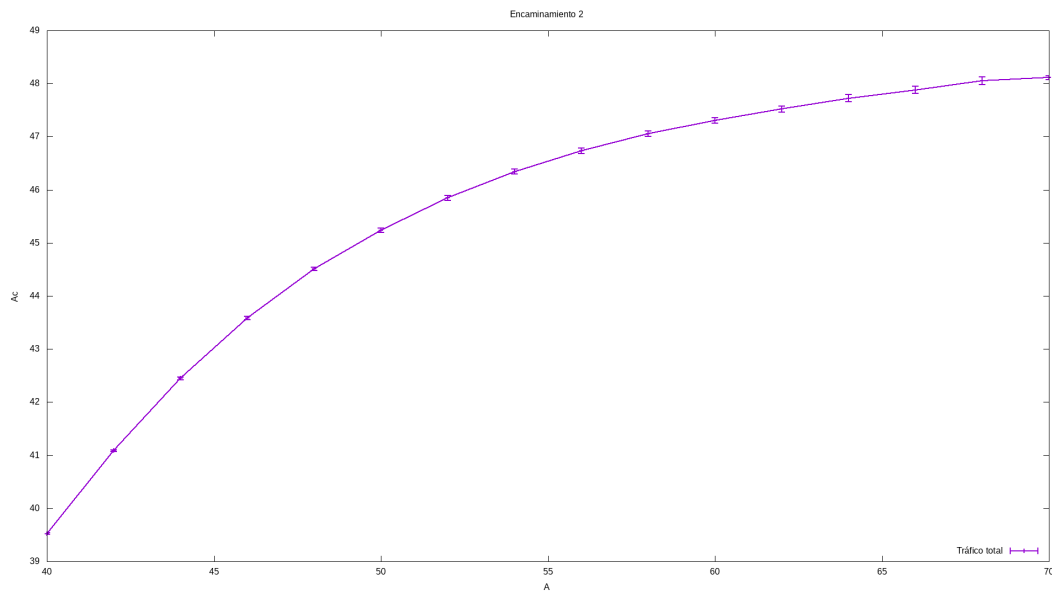


Figura 9: Gráfica de tráfico total

5. Encaminamiento III

Considerando que los satélites usan las siguientes reglas de encaminamiento de las peticiones de conexión de servicio garantizado:

1. De existir una ruta única corta (1 salto):
 - a) Primero se intenta por la ruta corta.
 - b) Segundo se intenta por la ruta siguiente a la corta en longitud usando los enlaces entre los satélites A, B, C y D.
2. De existir dos rutas cortas (2 saltos):
 - a) 1o se intenta por la dextrógira.
 - b) 2o se intenta por la levógira.

Se pide realizar el estudio mediante simulación.

5.1. Simulación

Para la simulación de este encaminamiento se ha modificado el script encargado de generar el archivo de configuración del simulador de tal manera que cumpla los requisitos especificados.

Para ello, se le ha indicado al simulador en el correspondiente fichero .cfg, las nuevas rutas que deben realizar los tráficos simples en caso de no poder hacerlo por la ruta de un solo salto. En el caso del tráfico de A a B se ha modificado la línea que define las rutas y los enlaces que recorrerá tal como:

- 0 3,2,1 a \rightarrow siendo 0 el enlace para un solo salto, y 3,2,1 los enlaces por los que debe encaminar el tráfico en caso de no poder hacerlo por el 0.

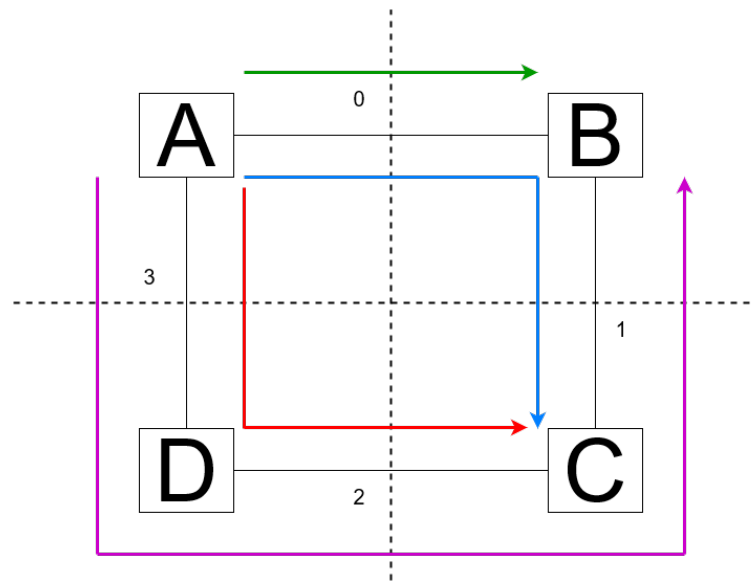


Figura 10: Diagrama de tráfico de enrutamiento III

De esta manera conseguimos que el simulador, si devuelve un cero al intentar la ruta de un salto (ruta verde / enlace 0), lo intente por la ruta que recorre los satélites A,D,C,B (enlaces 3,2,1), especificándole al simulador una segunda ruta para el tráfico de un salto. Para el enrutamiento entre satélites con más de un salto se sigue utilizando la configuración del enrutamiento II.

En la simulación del tercer enrutamiento se han obtenido, para el rango inicial (0 a 5) y extendido (-10 a 5) de i , las siguientes gráficas:

5.1.1. Rango de i inicial

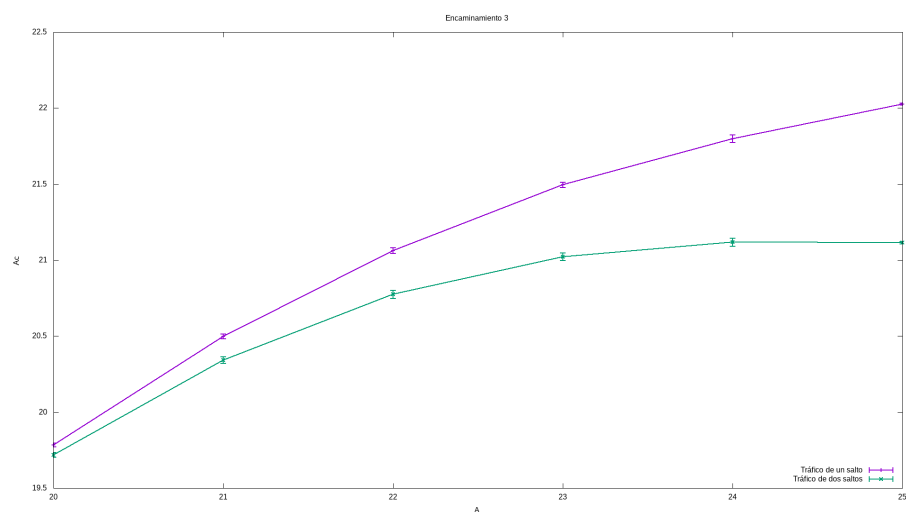


Figura 11: Gráfica de tráfico de un salto (morado) y de dos saltos (verde)

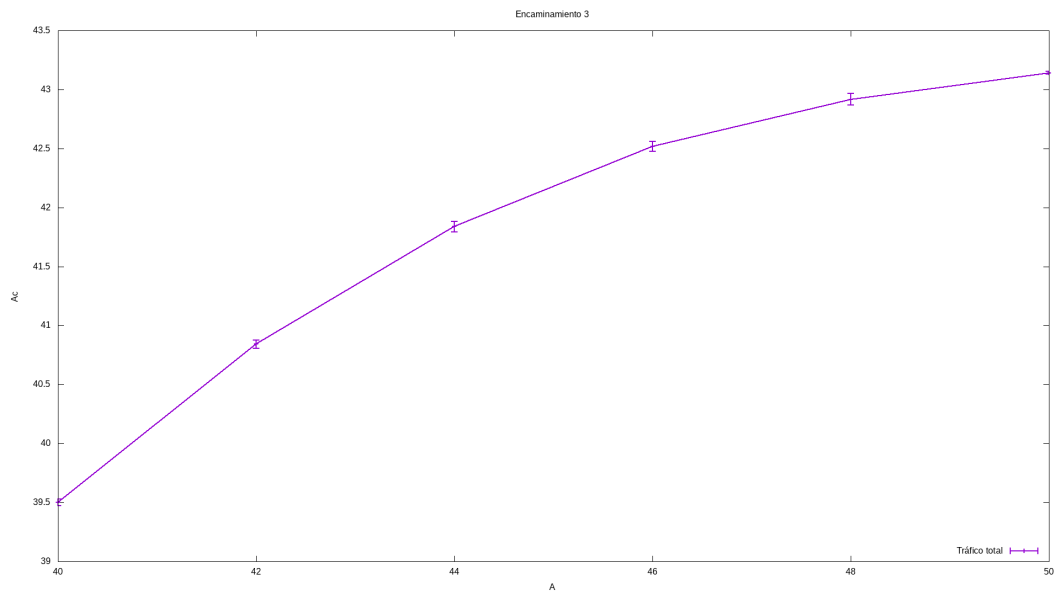


Figura 12: Gráfica de tráfico total

5.1.2. Rango de i extendido

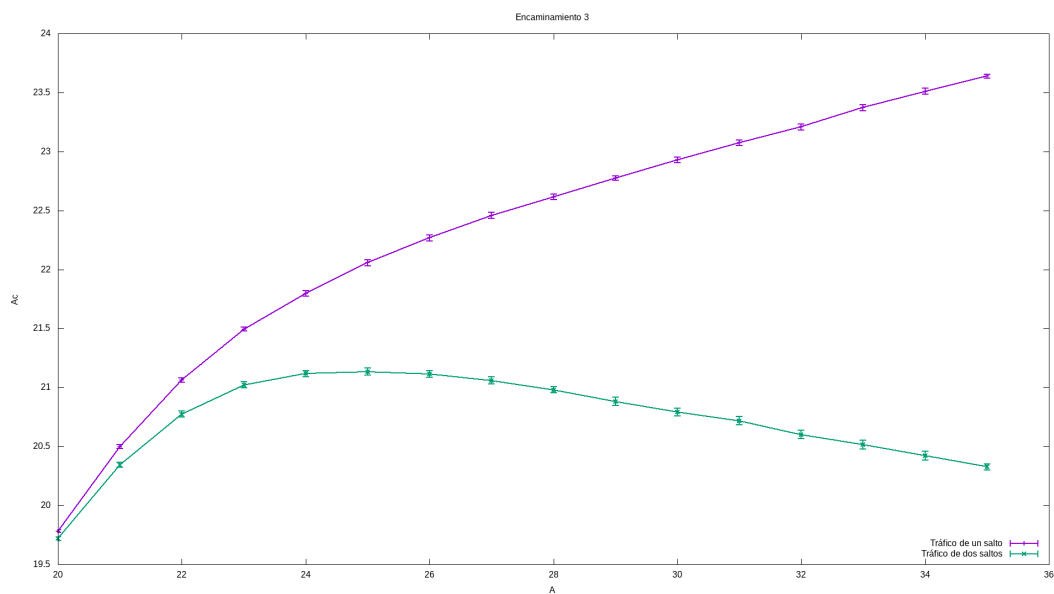


Figura 13: Gráfica de tráfico de un salto (morado) y de dos saltos (verde)

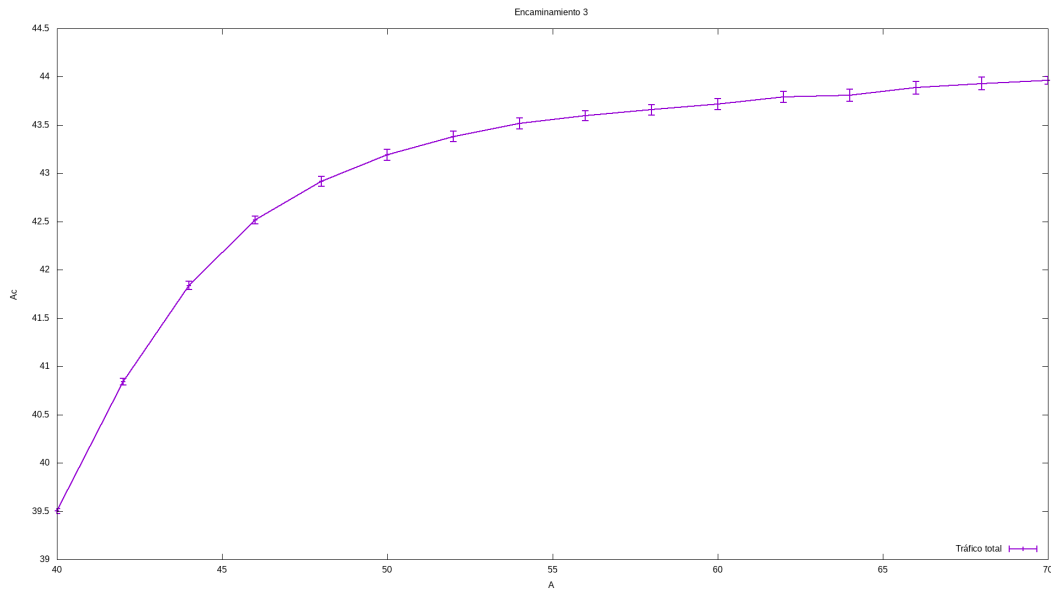


Figura 14: Gráfica de tráfico total

6. Apéndices

■ i = 1:

Como primer paso se calcula el valor de r para i = 1 a partir del cual obtendremos los valores de tráfico.

$$r_1 = (1 - 0,04 \cdot i) = 0,96$$

Obtenemos el valor de tráfico a partir del valor de r obtenido en la recursión y el tiempo de servicio demandado.

$$A = \lambda \cdot S = \frac{25 \cdot r}{S} \cdot S = 25 \cdot 0,96 = 24$$

Calculamos el tráfico total a partir de las contribuciones de los distintos tráficos.

$$A_T = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 48$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de un salto:

$$B_{1salto} = 1 - P[N_a(Y) < m_a] = 1 - (1 - E(m_a, A_T)) = 0,0833$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de dos saltos:

$$B_{2saltos} = 1 - (P[N_1(Y) < m] \cdot P[N_2(Y) < m / N_1(Y) < m])$$

$$= 1 - ((1 - E(m, A_T)) \cdot (1 - E(m, A_T)))$$

$$= 2 \cdot E(m, A_T) - E(m, A_T)^2 = 0,15971$$

Una vez tenemos todas las probabilidades de bloqueo para los diferentes tráficos, podemos calcular el tráfico cursado a partir de estos valores.

$$A_{c1} = A \cdot (1 - B_{1salto}) = A \cdot (1 - 0,0833) = 22,0008$$

$$A_{c2} = \frac{A}{2} \cdot (1 - B_{2saltos}) = \frac{A}{2} \cdot (1 - 0,15971) = 10,08348$$

$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2} + A_{c2} = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 42,16776$$

■ i=2:

Como primer paso se calcula el valor de r para i = 2 a partir del cual obtendremos los valores de tráfico.

$$r_2 = (1 - 0,04 \cdot i) = 0,92$$

Obtenemos el valor de tráfico a partir del valor de r obtenido en la recursión y el tiempo de servicio demandado.

$$A = \lambda \cdot S = \frac{25 \cdot r}{S} \cdot S = 25 \cdot 0,92 = 23$$

Calculamos el tráfico total a partir de las contribuciones de los distintos tráficos.

$$A_T = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 46$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de un salto:

$$B_{1salto} = 1 - P[N_a(Y) < m_a] = 1 - (1 - E(m_a, A_T)) = 0,06334$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de dos saltos:

$$B_{2saltos} = 1 - (P[N_1(Y) < m] \cdot P[N_2(Y) < m / N_1(Y) < m])$$

$$= 1 - ((1 - E(m, A_T)) \cdot (1 - E(m, A_T)))$$

$$= 2 \cdot E(m, A_T) - E(m, A_T)^2 = 0,12266$$

Una vez tenemos todas las probabilidades de bloqueo para los diferentes tráficos, podemos calcular el tráfico cursado a partir de estos valores.

$$A_{c1} = A \cdot (1 - B_{1salto}) = A \cdot (1 - 0,06334) = 21,54318$$

$$A_{c2} = \frac{A}{2} \cdot (1 - B_{2saltos}) = \frac{A}{2} \cdot (1 - 0,12266) = 10,0894$$

$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2} + A_{c2} = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 41,72198$$

■ i=3:

Como primer paso se calcula el valor de r para i = 3 a partir del cual obtendremos los valores de tráfico.

$$r_3 = (1 - 0,04 \cdot i) = 0,88$$

Obtenemos el valor de tráfico a partir del valor de r obtenido en la recursión y el tiempo de servicio demandado.

$$A = \lambda \cdot S = \frac{25 \cdot r}{S} \cdot S = 25 \cdot 0,88 = 22$$

Calculamos el tráfico total a partir de las contribuciones de los distintos tráficos.

$$A_T = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 44$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de un salto:

$$B_{1salto} = 1 - P[N_a(Y) < m_a] = 1 - (1 - E(m_a, A_T)) = 0,04549$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de dos saltos:

$$B_{2saltos} = 1 - (P[N_1(Y) < m] \cdot P[N_2(Y) < m / N_1(Y) < m])$$

$$= 1 - ((1 - E(m, A_T)) \cdot (1 - E(m, A_T)))$$

$$= 2 \cdot E(m, A_T) - E(m, A_T)^2 = 0,08891$$

Una vez tenemos todas las probabilidades de bloqueo para los diferentes tráficos, podemos calcular el tráfico cursado a partir de estos valores.

$$A_{c1} = A \cdot (1 - B_{1salto}) = A \cdot (1 - 0,04549) = 20,99922$$

$$A_{c2} = \frac{A}{2} \cdot (1 - B_{2saltos}) = \frac{A}{2} \cdot (1 - 0,08891) = 10,02199$$

$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2} + A_{c2} = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 41,0432$$

■ i=4:

Como primer paso se calcula el valor de r para i = 4 a partir del cual obtendremos los valores de tráfico.

$$r_4 = (1 - 0,04 \cdot i) = 0,84$$

Obtenemos el valor de tráfico a partir del valor de r obtenido en la recursión y el tiempo de servicio demandado.

$$A = \lambda \cdot S = \frac{25 \cdot r}{S} \cdot S = 25 \cdot 0,84 = 21$$

Calculamos el tráfico total a partir de las contribuciones de los distintos tráficos.

$$A_T = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 42$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de un salto:

$$B_{1salto} = 1 - P[N_a(Y) < m_a] = 1 - (1 - E(m_a, A_T)) = 0,03045$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de dos saltos:

$$B_{2saltos} = 1 - (P[N_1(Y) < m] \cdot P[N_2(Y) < m / N_1(Y) < m])$$

$$= 1 - ((1 - E(m, A_T)) \cdot (1 - E(m, A_T)))$$

$$= 2 \cdot E(m, A_T) - E(m, A_T)^2 = 0,05997$$

Una vez tenemos todas las probabilidades de bloqueo para los diferentes tráficos, podemos calcular el tráfico cursado a partir de estos valores.

$$A_{c1} = A \cdot (1 - B_{1salto}) = A \cdot (1 - 0,03045) = 20,36055$$

$$A_{c2} = \frac{A}{2} \cdot (1 - B_{2saltos}) = \frac{A}{2} \cdot (1 - 0,05997) = 9,87031$$

$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2} + A_{c2} = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 40,10117$$

■ i=5:

Como primer paso se calcula el valor de r para $i = 5$ a partir del cual obtendremos los valores de tráfico.

$$r_5 = (1 - 0,04 \cdot i) = 0,8$$

Obtenemos el valor de tráfico a partir del valor de r obtenido en la recursión y el tiempo de servicio demandado.

$$A = \lambda \cdot S = \frac{25 \cdot r}{S} \cdot S = 25 \cdot 0,8 = 20$$

Calculamos el tráfico total a partir de las contribuciones de los distintos tráficos.

$$A_T = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 40$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de un salto:

$$B_{1salto} = 1 - P[N_a(Y) < m_a] = 1 - (1 - E(m_a, A_T)) = 0,01869$$

Calculamos la probabilidad de bloqueo para el tráfico de dos saltos:

$$B_{2saltos} = 1 - (P[N_1(Y) < m] \cdot P[N_2(Y) < m/N_1(Y) < m])$$

$$= 1 - ((1 - E(m, A_T)) \cdot (1 - E(m, A_T)))$$

$$= 2 \cdot E(m, A_T) - E(m, A_T)^2 = 0,037$$

Una vez tenemos todas las probabilidades de bloqueo para los diferentes tráficos, podemos calcular el tráfico cursado a partir de estos valores.

$$A_{c1} = A \cdot (1 - B_{1salto}) = A \cdot (1 - 0,01869) = 19,6262$$

$$A_{c2} = \frac{A}{2} \cdot (1 - B_{2saltos}) = \frac{A}{2} \cdot (1 - 0,037) = 9,63$$

$$A_{cT} = A_{c1} + A_{c2} + A_{c2} = A + \frac{A}{2} + \frac{A}{2} = 38,8862$$