

ESCUELA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TEORÍA DE REDES Y CONMUTACIÓN

Memoria

Laura Blanco Pereiro

Carlos Fernández Deus

Pablo Pío Rejo Iglesias

Iago Porto Montes

Vigo
19 de mayo de 2023

Índice

1	Introducción	2
2	Encaminamientos	2
2.1	Encaminamiento axial	2
2.1.1	Estudio analítico	2
2.1.2	Un salto	3
2.1.3	Dos saltos	5
2.2	Encaminamiento dextrógiro	6
2.2.1	Estudio analítico	6
2.2.2	Un salto	7
2.2.3	Dos saltos	9
2.3	Encaminamiento exhaustivo	10
2.3.1	Simulación	10
2.4	Encaminamiento exhaustivo con reserva	11
2.4.1	Simulación	11
3	Conclusiones	11
4	Automatización	12
4.1	Modo de ejecución	12
4.2	Scripts auxiliares	12

1. Introducción

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:

- Se reservará un grupo de 2 Gb/s en cada sentido para aquellas comunicaciones de 1 y 2 saltos entre satélites
- 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 $\bar{S} = 120$ s.
- La velocidad media es: $\lambda = \frac{r \times 15}{\bar{S}}$ peticiones por segundo. Siendo:
 - $r_0 = 1 \rightarrow t = 0'002$.
 - $r_i = (1 - 0'04 \times i) \rightarrow t = \min(1, \frac{1-B_{i-1}}{B_{i-1}} \times 0'002)$

2. Encaminamientos

2.1. Encaminamiento axial

De existir una ruta única corta, sólo se intenta por ésta. De existir varias rutas cortas, se intenta por la ruta que pase por el eje nortesur central (enlaces B-I y/o I-F).

2.1.1. Estudio analítico

Distinguiremos 10 tipos de rutas distintas divididas en:

- Rutas de un salto: su trazabilidad es trivial pues cada enlace es una ruta. Sin embargo debido a que hay enlaces con más tráfico que otros la probabilidad de bloqueo es distinta, debido a esto y por simetría distinguimos 4 tipos de rutas:
 - Rutas de las horizontales superior e inferior (4 rutas) (tipo g)
 - Rutas de la horizontal central (2 rutas) (tipo j)
 - Rutas de las verticales izquierda y derecha (4 rutas) (tipo h)
 - Ruta vertical central (axial) (2 rutas) (tipo i)

De tal forma que tendremos 12 rutas igual al N^0 de enlaces.

- Rutas de dos saltos: tendremos que tener en cuenta todos los posibles caminos de dos saltos en esta disposición de satélites.
 - Rutas de los nodos de las esquinas hacia el nodo central I (4 rutas) (tipo a)
 - Rutas Horizontales superior e inferior (2 rutas) (tipo c)
 - Rutas verticales izquierda y derecha (2 rutas) (tipo b)
 - Ruta central axial (1 ruta) (tipo d)
 - Ruta central horizontal (1 ruta) (tipo e)
 - Rutas desde H y D hasta los nodos F y B (4 rutas) (tipo f)

Tendremos entonces 26 rutas.

2.1.2. Un salto

Para el cálculo de la probabilidad de bloqueo de un salto seguimos el modelo M/G/m/m, con fórmulas igual al modelo M/M/m/m, particularizando a M/M/50/50. Utilizamos Erlang para el cálculo de la probabilidad de bloqueo, $E(m, A)$, donde $A = n \times \lambda \times \bar{S}$, siendo 'n' el número de flujos de tráfico atravesados por un enlace.

Debemos calcular en primer lugar el tráfico de llegadas, para ello tenemos en cuenta las peticiones por segundo y la cantidad de tráficos que atraviesan el enlace. En este caso vamos a tener en cuenta el enlace de A a H:

$$A_0^{A \rightarrow H} = 2 \times \lambda \times \bar{S} = 2 \times 0,125 \times 120 = 30$$

A continuación utilizamos el valor de A calculado para obtener la probabilidad de bloqueo a partir de Erlang:

$$B_0^{A \rightarrow H} = E(m, A_0^{A \rightarrow H})$$

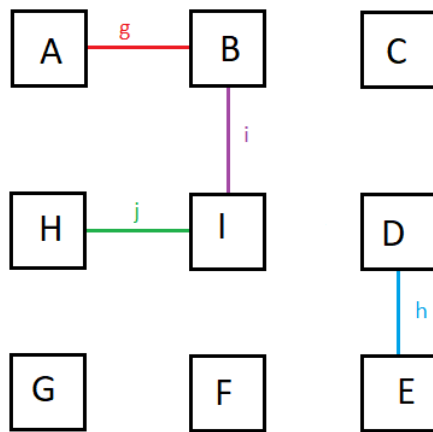
En este caso la probabilidad de bloqueo es:

$$B_0^{A \rightarrow H} = E(50, 30) = 2,2094e - 04$$

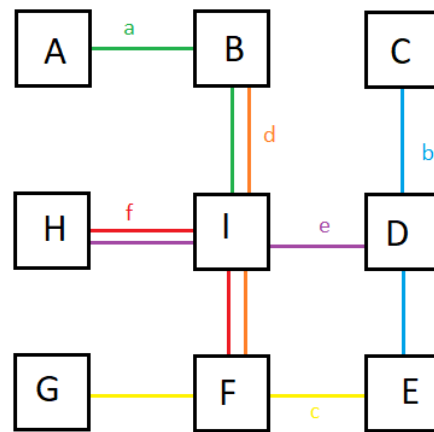
Siguiendo el ejemplo anterior el resto de cálculos se realizarían de igual manera. Los resultados se muestran en las Tablas 1, 2 y 3 que se muestran a continuación.

i	0	1	2	3	4	5
r	1	0.96	0.92	0.88	0.84	0.8
1/lambda	8.0	8.33	8.70	9.09	9.52	10

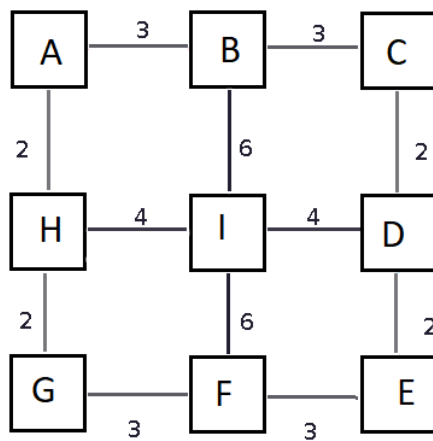
Tabla 1: Tabla valores de r y lambda



(a) Tráficos de 1 salto



(b) Tráficos de 2 saltos



(c) Número de tráfico por enlace

i/A	A₂	A₃	A₄	A₆
0	30	45	60	90
1	28.8	43.2	57.6	86.4
2	27.6	41.4	55.2	82.8
3	26.4	39.6	52.8	79.2
4	25.2	37.8	50.4	75.6
5	24	36	48	72

Tabla 2: Tabla valores de A

i/B	B_h	B_g	B_j	B_i
0	2.20944325e-04	5.41044722e-02	2.16118648e-01	4.57045101e-01
1	9.52619548e-05	3.91056484e-02	1.90029825e-01	4.35531793e-01
2	3.76591050e-05	2.65645602e-02	1.63232368e-01	4.12350508e-01
3	1.35441958e-05	1.67504325e-02	1.36097563e-01	3.87331293e-01
4	4.39271497e-06	9.67012377e-03	1.09195306e-01	3.60294188e-01
5	1.27180382e-06	5.03609026e-03	8.33373535e-02	3.31057794e-01

Tabla 3: Tabla valores de B 1 salto

2.1.3. Dos saltos

Para calcular la probabilidad de bloqueo de dos saltos, en este caso tendremos en cuenta el tráfico que transcurre de A a C, que está dividido en el tráfico de A a B, atravesado por 3 tráficos, y el tráfico de B a C, atravesado por 3 tráficos. Consideramos que los enlaces son independientes. Se calcula de la siguiente forma:

$$(1 - B_0^{A \rightarrow C}) = (1 - B_0^{A \rightarrow B}) \times (1 - B_0^{B \rightarrow C})$$

Como ambos enlaces son simétricos:

$$(1 - B_0^{A \rightarrow C}) = (1 - B_0)^2$$

Calculando B_0 del mismo modo que para un salto obtenemos que :

$$B_0 = 0,0541$$

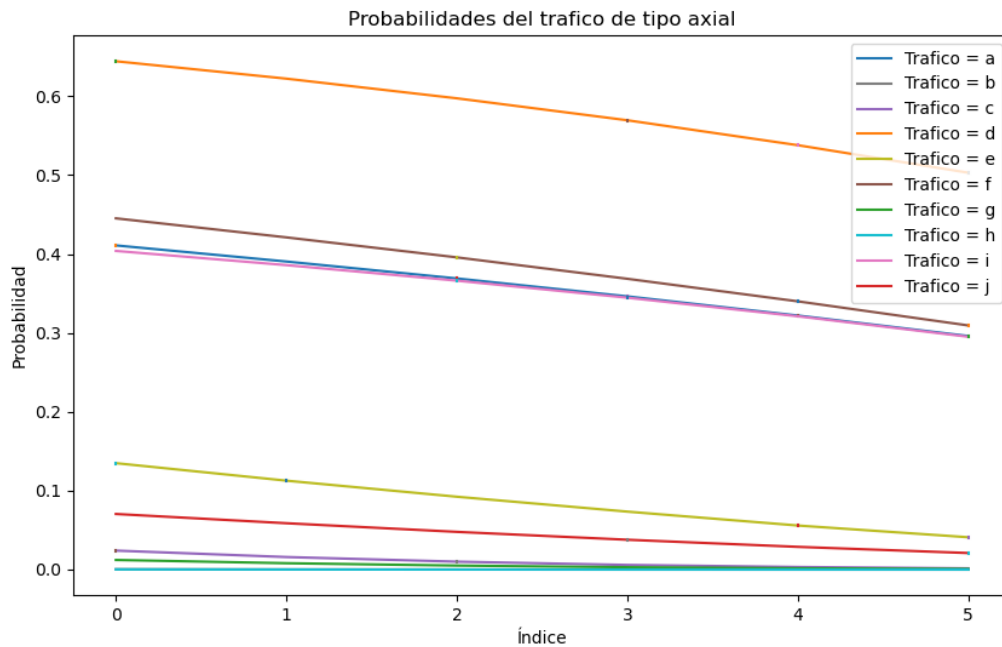
Y por tanto:

$$B = 1 - (1 - B_0)^2 = 1 - (1 - 0,0541)^2 = 0,1052$$

A continuación se muestra el resultado de todos las probabilidades de bloqueo de 2 saltos.

i/B	B _a	B _b	B _c	B _d	B _e	B _f
0	4.864213e-1	4.418398e-4	1.052816e-1	7.051999e-1	3.855300e-1	5.743877e-1
1	4.576056e-1	1.905148e-4	7.668204e-2	6.813756e-1	3.439483e-1	5.427975e-1
2	4.279611e-1	7.531679e-5	5.242344e-2	6.546680e-1	2.998199e-1	5.082739e-1
3	3.975937e-1	2.708820e-5	3.322028e-2	6.246370e-1	2.536725e-1	4.707140e-1
4	3.664802e-1	8.785410e-6	1.924673e-2	5.907764e-1	2.064669e-1	4.301470e-1
5	3.344266e-1	2.543606e-6	1.004681e-2	5.525163e-1	1.597295e-1	3.868056e-1

Tabla 4: Tabla valores de B 2 saltos



2.2. Encaminamiento dextrógiro

De existir una ruta única corta, sólo se intenta por ésta. De existir varias rutas cortas, se intenta por la ruta dextrógiro (p.e. $A \rightarrow B \rightarrow I$ o $I \rightarrow H \rightarrow A$).

2.2.1. Estudio analítico

Distinguiremos 5 tipos de rutas distintas divididas en:

- Rutas de un salto: su trazabilidad es trivial pues cada enlace es una ruta. Sin embargo debido a que hay enlaces con más tráfico que otros la probabilidad de bloqueo es distinta, debido a esto y por simetría distinguimos 2 tipos de rutas:
 - Rutas de las horizontales superior e inferior (rutas) (tipo d)

- Rutas de la horizontal central (rutas) (tipo e)

De tal forma que tendremos rutas igual al N^o de enlaces, siendo este 12.

- Rutas de dos saltos: tendremos que tener en cuenta todos los posibles caminos de dos saltos en esta disposición de satélites.
 - Rutas de los tráficos que pasan por un enlace A_6 y otro de A_4 (8 rutas) (tipo a)
 - Rutas de los tráficos que pasan por dos enlaces con A_4 (8 rutas) (tipo b)
 - Rutas de los tráficos que pasan por dos enlaces con A_6 (6 rutas) (tipo c)

Tendremos entonces 34 rutas.

2.2.2. Un salto

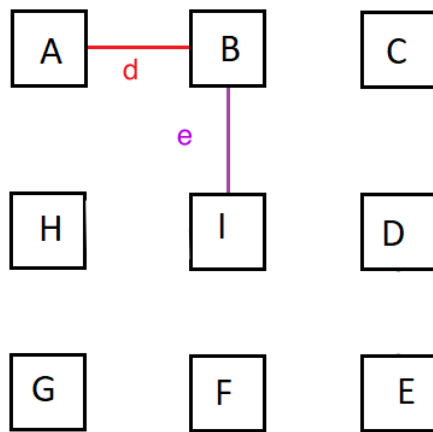
Para los cálculos de un salto mediante encaminamiento dextrógiro utilizamos el mismo procedimiento indicado en el encamamiento axial.

i	0	1	2	3	4	5
r	1	0.96	0.92	0.88	0.84	0.8
1/lambda	8.0	8.33	8.70	9.09	9.52	10

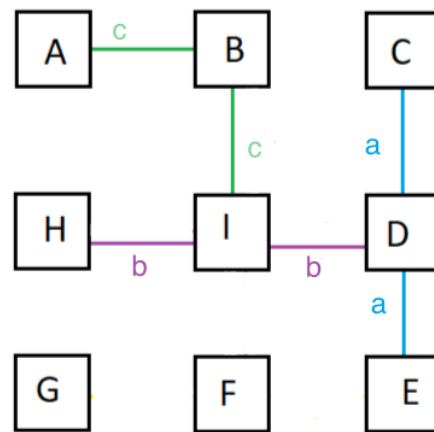
Tabla 5: Tabla valores de r y lambda Dextrogiro

i/A	A₃	A₄
0	45	60
1	43.2	57.6
2	41.4	55.2
3	39.6	52.8
4	37.8	50.4
5	36	48

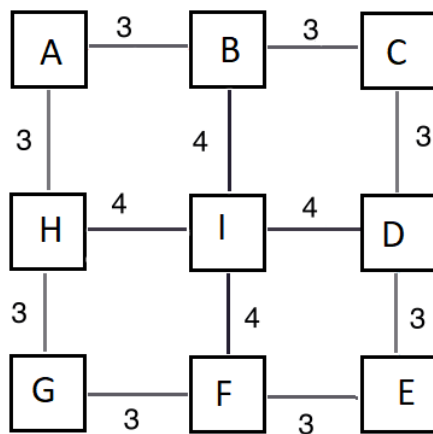
Tabla 6: Tabla valores de A Dextrogiro



(d) Tráficos de 1 salto



(e) Tráficos de 2 salto



(f) Número de tráfico por enlace

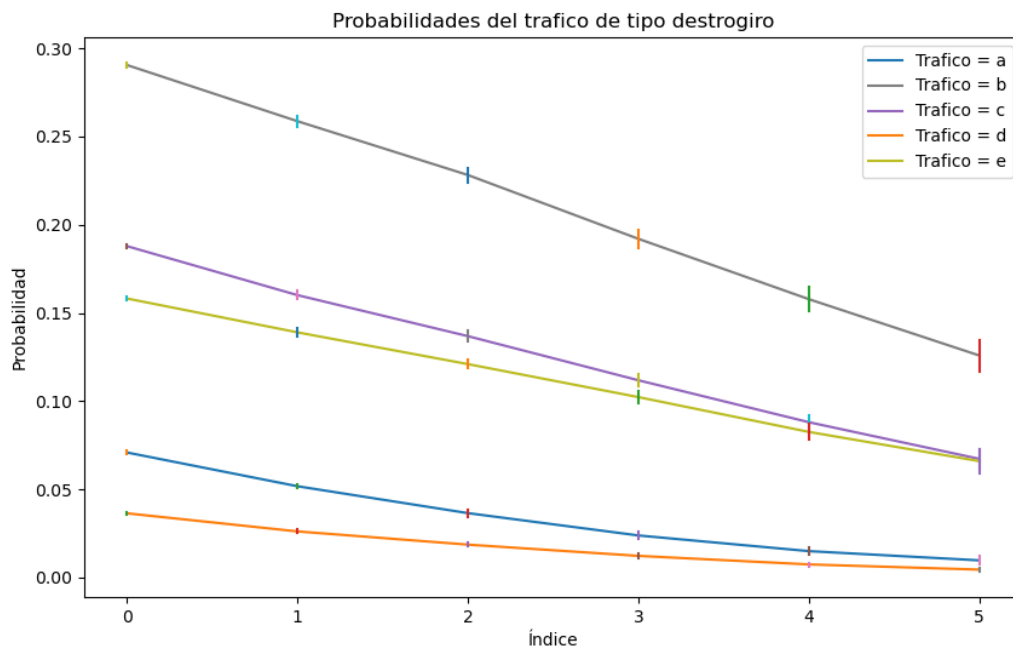
i/B	B_d	B_e
0	0.05410447	0.21611865
1	0.03910565	0.19002982
2	0.02656456	0.16323237
3	0.01675043	0.13609756
4	0.00967012	0.10919531
5	0.00503609	0.08333735

Tabla 7: Tabla valores de B 1 salto

2.2.3. Dos saltos

i/B	B_a	B_b	B_c
0	0.10528165	0.38553003	0.25853013
1	0.07668205	0.34394831	0.22170423
2	0.05242344	0.29981993	0.18546073
3	0.03322029	0.25367258	0.1505683
4	0.01924674	0.206467	0.1178095
5	0.01004682	0.15972959	0.08795375

Tabla 8: Tabla valores de B 2 saltos



2.3. Encaminamiento exhaustivo

De existir una ruta única corta, sólo se intenta por ésta. De existir varias rutas cortas, primero se intenta por la ruta dextrógira y segundo se intenta por el levógiro.

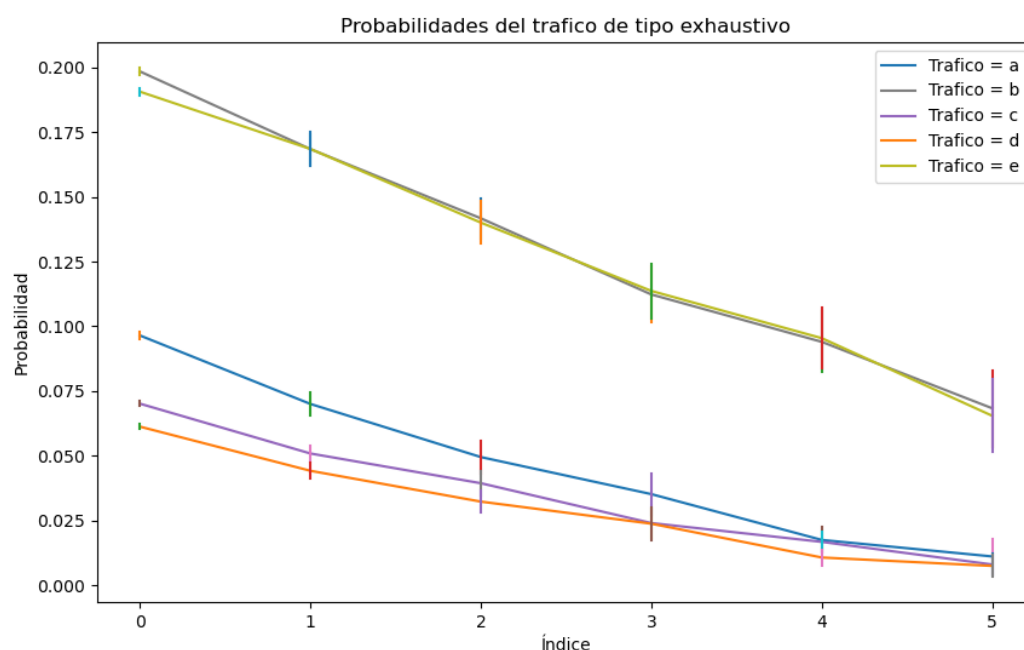
2.3.1. Simulación

En cuanto a la simulación, utilizaremos el programa 'SimRedMMkk'. Este programa, devuelve las probabilidades de bloqueo aproximadas en base a un intervalo de confianza. A diferencia de las simulaciones anteriores, esta tiene una peculiaridad, el uso de reintentos. Por tanto, el fichero de configuración ha de ser diferente a los anteriores. La implementación de dicho cambio, habría que realizar el siguiente cambio:

```
"# Ruta G->E
M 16.0
M 120
11,10 a
#Ruta D->F
M 16.0
M 120
9,11 6,8 a"
```

Este sería un extracto del fichero de configuración. La ruta de D a F se observa la siguiente línea: "9,11 6,8 a", mientras que en la ruta superior, se observa "11,10 a". Esta sería la forma de indicar al simulador que la ruta D->F se realizaría con reintentos.

Por otro lado, hemos graficado los resultados del simulador obteniendo el siguiente gráfico:

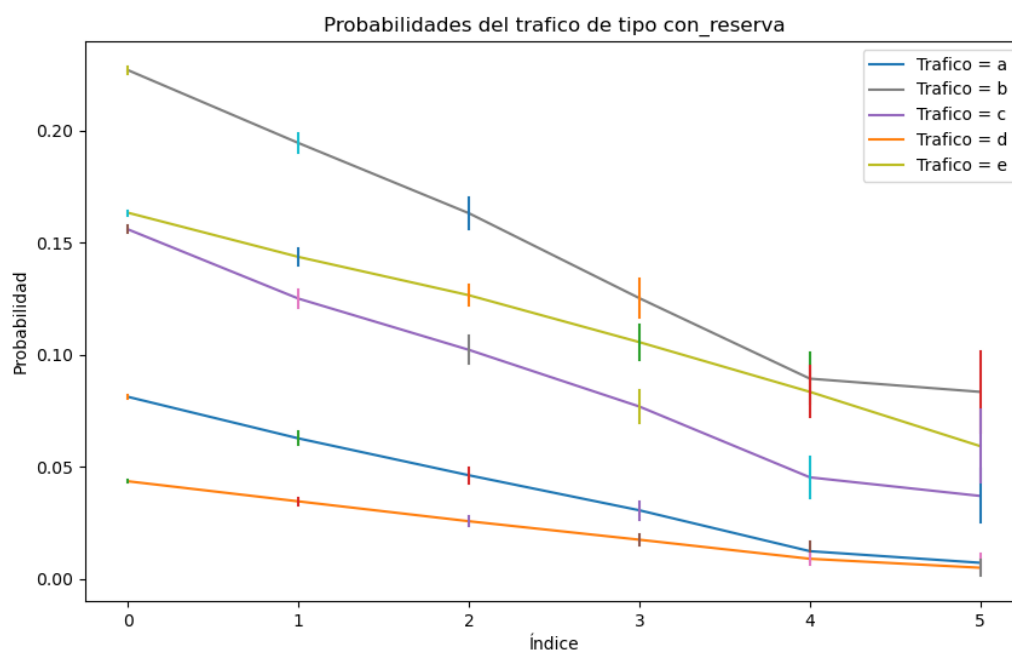


2.4. Encaminamiento exhaustivo con reserva

Es el mismo que el exhaustivo pero con la opción del simulador n4".

2.4.1. Simulación

En cuanto al "SimRedMMk", en este encaminamiento se procede de igual forma que en el anterior. Por tanto, la realización del fichero de configuración seguiría el formato explicado en la [simulación exhaustiva](#).



3. Conclusiones

Después de realizar la simulación de todos los tipos de encaminamientos, podemos observar que con el encaminamiento axial se obtienen los peores resultados, como se puede ver en los datos de las gráficas, frente a los mejores resultados, obtenidos en el encaminamiento exhaustivo con reserva. También se observa que con los cálculos analíticos obtenemos peores resultados, es decir probabilidades de bloqueo más altas que los obtenidos con la simulación. Esto es debido a que los cálculos analíticos son pesimistas en cuanto a las probabilidades de bloqueo.

En cuanto a los distintos valores de las "i" observamos que estas determinan inversamente el valor del tráfico medio en el enlace, por esto mismo las probabilidades de bloqueo se reducen al tener menos tráfico en cada enlace.

4. Automatización

Con el objetivo de poder obtener los ficheros de ejecución de forma rápida, junto a datos sobre las probabilidades de bloqueo de cada tipo de encaminamiento, realizamos varios scripts en Python.

4.1. Modo de ejecución

Para la obtención de los ficheros de configuración, los ficheros de salida del simulador y las distintas gráficas solo es necesario ejecutar el script "ejecutar.sh" de la carpeta principal. En primer lugar se crearán los ficheros (que se guardarán en la carpeta "./conf/axial" por ejemplo) de configuración de los distintos encaminamientos para las distintas "i" a partir de un fichero de prueba (por ejemplo "axial.cfg") que hay en la carpeta "./scripts/conf/". Posteriormente se ejecutarán para obtener los ".out" que se encuentran en la carpeta "./out/". Finalmente a partir de dichos ficheros se generarán las distintas gráficas que se alojan en la carpeta "./img/". A parte de estos ficheros relacionados con la simulación, este script también calcula los resultados teóricos de los apartados a y b y los guarda en la carpeta "./resultados/".

Apunte: la ejecución de este script tarda un poco. Aproximadamente un minuto y medio.

4.2. Scripts auxiliares

- *calculos_prob_bloqueo.py*: script para los cálculos teóricos del encaminamiento axial.
- *calculos_apartado_b.py* : script para los cálculos teóricos del encaminamiento dextrógiro.
- *crear_ficheros.py*: script para la generación de los ficheros de configuración.
- *ejecutar.py*: script para la ejecución de los distintos ficheros de configuración usando el simulador.
- *globales.py*: fichero para el almacenamiento de variables globales de los distintos scripts de python.
- *graficas.py*: script para generar gráficas con las distintas probabilidades de bloqueo de cada tipo de encamamiento.