

## ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS

### Conjunto de problemas 5

Nota: En caso de no disponer de tablas deje indicado el resultado. Si la tabla que tiene no es suficientemente precisa aproxime el resultado o déjelo indicado

1. Suponga que el usuario medio está activo durante una llamada de 3 minutos en la hora cargada. ¿Cuál es la intensidad media de tráfico por usuario? ¿Cuál es la intensidad media de tráfico en una centralita de 10000 líneas (es decir, 10000 abonados)?
2. Considere un enlace troncal donde la probabilidad de bloqueo debe ser menor de 0.02. a) ¿Qué intensidad de tráfico puede soportar si el grupo tiene 18 canales? Si un usuario genera una intensidad de tráfico de 0.03E ¿cuántos usuarios pueden emplear dicho enlace tal que se mantenga la probabilidad de bloqueo por debajo del objetivo? b) ¿Cuántos canales hacen falta para soportar 13 Erlangs de tráfico?
3. Suponga una población de 250 usuarios telefónicos todos ellos con líneas del mismo conmutador de central local. En la hora cargada, para 200 de esos usuarios se puede aproximar que cada uno genera 1 llamada por hora y que dichas llamadas duran en media 3 minutos. Los 50 usuarios restantes generan 2.5 llamadas por hora (cada uno) con duraciones medias de 5 minutos. Si la central local tiene un enlace E1 hacia una central primaria calcule cuál es la probabilidad de bloqueo en la hora cargada.
4. Un departamento de una empresa quiere instalar impresoras en red utilizables por cualquiera de sus trabajadores. Cada impresora acepta un solo trabajo a la vez (no tienen cola) y los sistemas operativos de la empresa, cuando se intenta imprimir en una impresora ocupada reportan inmediatamente un error al usuario. Se estima que los trabajos de impresión tardan una media de 1.2 minutos en completarse. El departamento tiene 80 trabajadores y cada uno imprime en media 9 documentos al día. La jornada laboral es de 8 horas. Se debe decidir el número de impresoras a instalar y para ello se pone el requisito de que no más del 5% de las veces que un trabajador quiera imprimir se encuentre todas ocupadas. Haga su propuesta de número de impresoras. ¿Qué hipótesis necesita añadir para que ese cálculo sea correcto?
5. Una empresa dispone de un call-center con 10 líneas de entrada y 10 operadores que contestan llamadas. Su jefe se queja de que según los últimos datos, en la hora de máxima demanda un 15% de las llamadas están siendo rechazadas por no disponer de línea y operador que las atienda. Esto le parece inaceptable. Exige que como mucho un 0.5% de las llamadas puedan perderse. Se sabe que la duración media de estas llamadas es de 4 minutos. a) ¿Cuántas llamadas se están recibiendo por minuto en la hora de máxima demanda? b) Su jefe le plantea una primera opción para mejorar el servicio: puede comprar otra centralita telefónica con capacidad de 10 líneas más de entrada y alquilar más líneas de entrada a un proveedor de telefonía (así como más operadores). ¿Cuántas líneas debe alquilar? ¿Es suficiente con 5? ¿Es suficiente con 10? ¿O necesita comprar más de una centralita? c) Otra opción que nos da el proveedor de servicio es redireccionar en la red telefónica las llamadas que no podamos atender porque están las líneas ocupadas, a otro centro de servicio de otra sucursal de nuestra empresa. Pero para ello nos va a cobrar según el tráfico en erlangs que redireccione. ¿Qué intensidad de tráfico podemos esperar que se redireccione al segundo centro de servicio? ¿Cuántas llamadas por minuto se redirigirían?

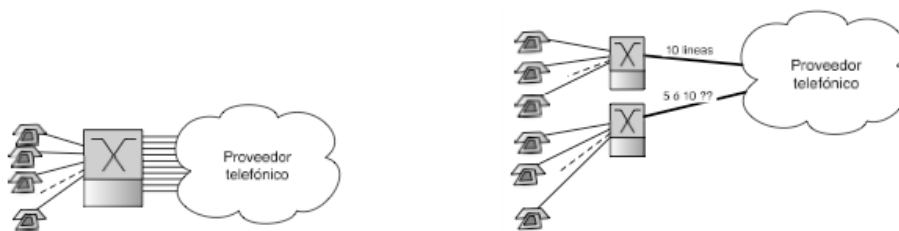


Figura 1.- Escenario del problema 5

6. Una empresa tiene repartidos a sus trabajadores en dos edificios. Posee una centralita en cada uno y una tercera que hace de interconexión. Se espera que los usuarios hagan muy pocas llamadas de un edificio a otro y se dispone de 5 líneas del edificio 1 al central y de 7 desde el edificio 2. Si en la hora cargada las llamadas de usuarios del edificio 1 al 2 representan una intensidad de tráfico de 1.3 Erlangs y las de los usuarios del edificio 2 al 1 una intensidad de 0.9 Erlangs calcule la probabilidad de que una llamada entre edificios no pueda ser cursada.
7. Una empresa permite el acceso de sus trabajadores de forma segura a la red interna. Para ello deben crear un túnel. El extremo interno del túnel (el agregador) tendrá un límite en el número de túneles que puede tener establecidos simultáneamente (debido a limitaciones hardware a la hora de hacer la encriptación de tráfico). Se calcula que la empresa tiene en media unos 50 trabajadores siempre viajando. Debido a las diferencias horarias de los países en los que se pueden encontrar se estima que sus intentos de acceso a la red corporativa se reparten homogéneamente a lo largo de todo el día.

Cada teletrabajador intentará acceder a la red de la empresa una vez al día para procesar su correo electrónico y se calcula que estará usando el túnel durante unos 25 minutos. Calcule cuántos túneles debe soportar simultáneamente el agregador para que la probabilidad de que un teletrabajador no pueda establecer uno nuevo sea inferior al 1%.

8. Una empresa permite el acceso de sus trabajadores de forma segura a la red interna. Para ello deben crear un túnel. El extremo interno del túnel (el agregador) acepta un máximo de  $S$  sesiones simultáneas. Se calcula que el conjunto de teletrabajadores de la empresa hace una media de  $n$  intentos de establecimiento de sesión en la peor hora y la duración de las sesiones es de  $T$  minutos. Cada uno de esos teletrabajadores, un  $P\%$  de las veces que accede a la red interna necesita mandar un documento a imprimir para que el personal de administración lo envíe por correo postal (normalmente una oferta económica). Para poder imprimir el documento debe emplear una de las  $N$  impresoras en red que tiene la empresa. Dichas impresoras deben atender también al resto de trabajadores de la empresa, que se puede considerar que durante cualquier hora del día envían entre todos una media de  $K$  trabajos a dichas impresoras. Un trabajo de impresión cualquiera tiene una duración media de unos  $T$  minutos. Indique cómo calcular la probabilidad de que un teletrabajador intente enviar un documento a imprimir y no lo logre, bien por no lograr establecer el túnel o por no encontrar impresora libre.

9. Una empresa tiene dos edificios y una red telefónica como se ve en la figura 3. Como administrador de la red de la empresa tiene acceso a las estadísticas de uso de la misma y sabe que durante la hora cargada de la mañana las intensidades de tráfico típicas entre los destinos de su red y el exterior vienen dadas por la tabla 1. Como la empresa tiene buena relación con el proveedor de servicio telefónico, el enlace al exterior salía muy barato y se ha sobredimensionado con 16 líneas. Sin embargo el enlace tendido entre los dos edificios es de solo 8 líneas. Como administrador de la red, debe prepararse para el tráfico que se generará por una promoción que pretende realizar la empresa. Se han distribuido 2500 cupones entre los clientes que pueden llamar para reclamar su premio durante 5 días en horario de 9 a 13. Para atender a estos clientes se ha habilitado un call center con 8 operadoras que responden a llamadas al número de la promoción. El call center está en el edificio A. Se espera, por promociones anteriores, que la duración media de las llamadas de la promoción sea de 2 minutos. a) ¿Cuál es la carga extra de tráfico que tendremos en el enlace entre los dos edificios debido a la promoción? b) ¿Qué fracción de las llamadas de la promoción es rechazada por no haber líneas hasta el edificio A?

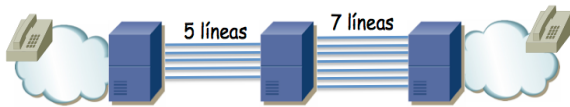


Figura 2.- Escenario del problema 6

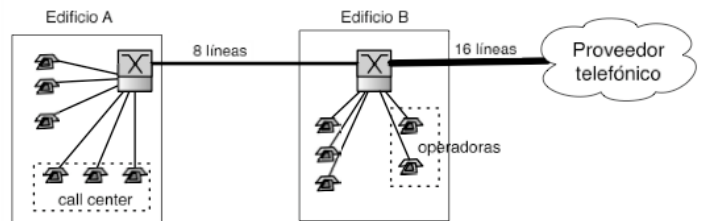


Figura 3.- Escenario del problema 9

Origen	Destino		
	A	B	Exterior
A	4.1	1.4	0.9
B	1.5	2.4	2.3
Exterior	0.1	0.2	-

Tabla 1.- Tráfico en la hora cargada para el problema 9 (en Erlangs)

10. La empresa GhostISP ofrece servicios de transporte de datos de alta capacidad en un entorno metropolitano y para ello posee una pequeña red con la topología de la figura 3. En la actualidad ofrece el servicio de transporte solo entre los edificios A y B los cuales albergan numerosas pequeñas empresas dedicadas al análisis de grandes volúmenes de información. Para dar servicio a las necesidades intermitentes de comunicación de alta capacidad entre ambos edificios, GhostISP ofrece el transporte de tramas PDH E3 (aprox 34Mbps) entre ambos edificios. Un enlace cualquiera de la red soporta un máximo de tres E3 simultáneamente. Cuando una empresa tiene un alto volumen de datos que intercambiar entre los edificios contrata con GhostISP un E3 entre ambos edificios, hace la transferencia y termina el contrato.

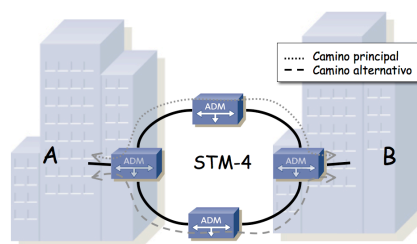


Figura 4.- Red de GhostISP

GhostISP, ante una nueva solicitud de un E3, intenta establecer un circuito en su red empleando lo que llama el “camino principal”. Si el camino principal está saturado intenta emplear el “camino alternativo”. Si no queda capacidad por ninguna de estas rutas GhostISP pierde un valioso cliente.

Tras bastante tiempo en el negocio, GhostISP conoce bien a sus clientes y sabe que en media recibe 2 peticiones al día de nuevos circuitos y que los contratos duran una media de 10 días.

- a) ¿Cuál es la intensidad de tráfico medida en Erlangs que recibe la red de GhostISP?
- b) ¿Cuál es la probabilidad de que GhostISP no pueda atender una nueva petición y pierda un cliente?

11. El zoo de la ciudad ha decidido instalar dos webcams enfocando a su atracción principal. Llamaremos a dichas cámaras CAM1 y CAM2. Cada una de esas webcams es capaz de enviar 4 fotos de forma simultánea a usuarios diferentes. Debido al algoritmo de compresión de la imagen, dichas fotos son de tamaño variable, que se estima en unos 300KBytes. En realidad, debido a la colocación de las cámaras, todo el mundo va primero a ver la CAM1 y solo si ésta le devuelve un error prueban con la CAM2. En la hora del día que más gente intenta acceder a la web con estas imágenes se calcula que se reciben unos 300 accesos. Se estima que la conjunción de anchos de banda, retardos, etc, hacen que las imágenes de la cámara se envíen a unos 100Kbps. Calcule el número de peticiones por minuto que cursa la CAM1. Calcule la probabilidad de que un usuario no pueda ver ninguna de las dos imágenes.

12. Suponga la división de atención telefónica de una empresa fabricante de computadoras. Dicha división gestiona un centro de llamadas atendido por  $c_1$  operadores entrenados para resolver problemas sencillos (servicio de primer nivel). Se reciben una media de  $n$  llamadas a este centro de atención cada hora. El centro de llamadas no emplea una centralita con sistema de espera con lo que cuando todos los operadores están ocupados se rechazan las llamadas siguientes hasta que algún operador quede libre. Para esas circunstancias se ha contratado un servicio de la operadora telefónica de forma que si no se puede establecer la llamada con el centro de llamadas se le reproduzca al usuario una locución que dura  $T_1$  segundos, disculpándose la empresa por la saturación de las líneas. En caso de que el cliente encuentre un operador libre suele tardar en media  $T_1$  minutos en atenderle.

Una fracción  $q$  de los clientes atendidos por los operadores de nivel 1 no logra resolver su problema y el operador decide redirigir la llamada a la división técnica especializada de la empresa (nivel 2), momento en el cual el operador de primer nivel queda libre para atender a un nuevo cliente. La división técnica tiene  $c_2$  especialistas en el servicio de atención telefónica, de nuevo sin sistema de espera, de forma que un cliente puede que vea rechazada su llamada al ser transferido a la división técnica. En el caso de que el cliente encuentre un operador libre suele tardar en media  $T_2$  minutos en atenderle. Se supone que los operadores del nivel 2 siempre resuelven el problema del cliente.

- a. Indique qué proporción de los clientes no logra ser atendido por operadores del primer nivel.
- b. Indique qué proporción de los clientes es redirigido al segundo nivel de atención especializada.
- c. Indique qué proporción de los clientes es redirigido al segundo nivel pero no logra ser atendido.
- d. Indiquen cuál es la duración media de las llamadas.

13. Una empresa tiene repartidos a sus trabajadores en tres edificios. Posee una centralita telefónica en cada uno, interconectadas como se muestra en la figura 2. Se espera que los usuarios hagan muy pocas llamadas de un edificio a otro y se dispone de solo 5 líneas entre el edificio central (número 2) y el edificio 1, así como otras 5 con el edificio 3 (y no las 7 que aparecen en esa figura). Llamaremos  $A_{ij}$  a la intensidad de tráfico en la hora cargada para llamadas originadas en usuarios del edificio  $i$  dirigidas a usuarios del edificio  $j$ . Indique cómo calcular la probabilidad de que una llamada del edificio 1 al 3 no pueda ser cursada.

14. Una empresa tiene dos sedes alejadas. Cada sede tiene un router frontera y a través de una WAN intercambia paquetes con la otra sede. La capacidad de ese enlace es de 600 Kilobits/s simétricos. Por este enlace se envía exclusivamente el tráfico de llamadas de voz mediante una solución de VoIP (“Voice over IP”, voz empleando conmutación de paquetes). Cada usuario de la sede 1 hace una media de 0.4 llamadas por hora a compañeros de la otra sede. Estas llamadas tienen una duración media de 5 minutos. Cada usuario de la sede 2 hace una media de 0.6 llamadas por hora a compañeros de la otra sede. Estas llamadas tienen una duración media de 4 minutos. En la sede 1 hay 600 usuarios mientras que en la sede 2 hay 300 usuarios. Cada vez que un usuario, desde su PC, emplea el software de VoIP corporativo para establecer una llamada telefónica con un usuario de la otra sede, ese tráfico circula por ese enlace. Los routers de los extremos gestionan el uso de ese enlace para evitar que se establezcan más llamadas que aquellas que soporta por su capacidad máxima. Los routers extremo del enlace filtran la señalización del tráfico de VoIP para impedir que se establezca una llamada si ésta va a hacer que se exceda el 90% de la utilización de ese. El tráfico de señalización es despreciable.

El tráfico de VoIP está formado principalmente por los flujos de voz en cada sentido. Cada uno de estos flujos se compone de los paquetes con las muestras de voz. Supondremos que el compresor empleado genera un paquete cada 50 milisegundos, todos ellos de 80 bytes.

El software corporativo de VoIP, si intenta establecer una llamada telefónica y fracasa redirige esa llamada por una pasarela hacia la red telefónica tradicional. Calcule el número medio de llamadas por hora que se redirigen hacia la PSTN.

15. Un ISP ofrece un servicio añadido de vídeo bajo demanda a sus abonados. Tiene dos tipos de abonados, los abonados "premium" y los abonados "basic". Cuando un abonado premium solicita una película se le intenta atender desde el Data Center HPAS (High Premium Advanced Services). Ese centro de datos tiene una capacidad máxima en número de películas que puede estar enviando simultáneamente. Si en un momento dado ha alcanzado ese máximo y llega una nueva petición de un usuario premium la redirige al Data Center VBAS (Very Basic Advanced Services). Si el VBAS ha alcanzado su máxima capacidad rechaza nuevas peticiones hasta que quede libre alguno de sus servidores. Las peticiones de los usuarios basic van directamente al VBAS y no pueden usar nunca el HPAS. Todas las peticiones que llegan a un data center se consideran equivalentes a la hora de atenderlas. Los usuarios premium en media solicitan una película al día mientras que los basic solicitan una película a la semana. Se tienen 100 abonados premium y 2.000 abonados classic. Todas las películas tienen una duración aproximada de 90 minutos. En estos momentos cada centro de datos puede atender a un máximo de 10 peticiones simultáneamente.

a) Calcule el número de películas al año que se atiende de los usuarios premium y el número de los usuarios classic.  
b) Los usuarios premium pagan por cada película que ven 10 veces más que los usuarios classic. Se va a mejorar la capacidad de uno de los centros de datos para que en vez de 10 películas pueda servir 11 películas simultáneamente. Con qué opción obtiene más beneficio el ISP: mejorando el HPAS o el VBAS? Justifique la respuesta con cálculos si es preciso.

16. En una central telefónica se dispone de un pool de 7 receptores de tonos de marcación. La intensidad de tráfico de llamadas entrantes es de 43.2 Erlangs, la duración media de las mismas de 3min y el tiempo medio de ocupación de los receptores de tonos procesando los mismos es de 10seg.

- ¿Cuál es la probabilidad de bloqueo del pool de receptores?
- ¿Cuántos receptores tenemos que poner para que la probabilidad de bloqueo sea menor de 0.005?

17. Un enlace de fibra óptica utiliza canales multiplexados en longitud de onda y cada longitud de onda transporta 24 canales multiplexados en el tiempo. Si se utilizan 4 longitudes de onda.

- ¿Qué intensidad de tráfico podemos soportar con una probabilidad de bloqueo  $P_b < 0.005$ ?
- ¿Cuál es la probabilidad de bloqueo para una intensidad de tráfico de 70 Erlangs?

18. Un grupo troncal con 12 enlaces soporta una intensidad de tráfico de 4 erlangs.

- ¿Cuál es la probabilidad de bloqueo  $P_b$ ?
- ¿Cuántos servidores hacen falta para tener probabilidad de bloque  $2P_b$  del apartado anterior?
- ¿Cuántos servidores hacen falta para soportar el doble de tráfico que en (a)?
- ¿Cuánto tráfico pueden soportar el doble de servidores que en (a)?

19. En una nueva tecnología óptica para WAN los nodos frontera de la red tienen varios interfaces Ethernet/FastEthernet/GigabitEthernet hacia LANs tradicionales y otros interfaces ópticos de muy alta velocidad hacia la WAN. Esos interfaces ópticos pueden emplear WDM (es decir, por cada cable de fibra se transmiten varias señales ópticas simultáneas) con un gran número de longitudes de onda. Los nodos frontera reciben los paquetes IP de las LANs que deben enviar a través de la WAN y los acumulan en grandes bloques de forma que las tramas que envían por la WAN contienen cada una un gran número de paquetes IP en una sola trama. Cuando una trama está lista se busca una longitud de onda que no esté ocupada para enviarla a través de ella, si todas están ya ocupadas la trama se descarta. Los paquetes IP se acumulan en diferente buffer según el destino al que se dirigen, de forma que todos los paquetes de la misma trama WAN tienen igual destino. La trama se conmuta atravesando la WAN sin salir del dominio óptico y en el nodo frontera del otro extremo se separan los paquetes contenidos en la trama para enviarlos a las LANs destino.

- Supongamos un nodo frontera que acumula paquetes para 50 destinos diferentes simultáneamente (figura 19) y tiene un solo interfaz óptico con  $c$  longitudes de onda. Si cada proceso de tramas a la salida de un acumulador sigue un proceso de Poisson de llegadas de tasa  $\lambda$  (tramas por segundo) y los tamaños de las mismas se pueden aproximar por una exponencial de media  $M$  (bytes) explique cómo calcular cuántas longitudes de onda se necesitan en el interfaz WAN para asegurar una probabilidad máxima de descarte de trama en el nodo frontera de valor  $p$ .
- Supongamos que un nodo frontera recibe de las LANs tan solo los paquetes IP de un flujo de vídeo de alta definición. Este flujo se compone de paquetes IP equiespaciados y de tamaño constante. El nodo frontera tiene un solo acumulador pues todos los paquetes tienen el mismo destino y se configura para enviar una trama con cada 30 paquetes IP consecutivos. Si el enlace óptico hacia la WAN tiene solo 2 longitudes de onda con igual velocidad de transmisión explique cómo calcular la capacidad mínima de las mismas para que ninguna trama se descarte en el nodo frontera.

Si alguno parámetro está sin definir defínalo asignándole una letra o símbolo. Se espera que los resultados sean función de esas variables

20. Una empresa tiene 3 líneas de teléfono para que llamen los empleados que trabajan remotamente (figura 5). Mediante un modem hacen una llamada a uno de esos números y sobre la llamada establecen un canal de datos empleando PPP para acceder a la red corporativa. Los ejecutivos tienen configurado su ordenador para que llame al número de teléfono  $N_1$ . Si  $N_1$  les sale que está ocupado, una fracción  $P$  de ellos intenta llamar al  $N_2$  y si ese les sale también ocupado llaman al  $N_3$  (todos los se bloquean en  $N_1$  y deciden intentar con  $N_2$ , si les falla lo intentan con  $N_3$ , están en una auténtica necesidad

de acceder a la red!). Los técnicos no conocen el número N1 así que tienen configurado en primera opción llamar al número N2 y si ese está ocupado intentarlo con el N3 (los técnicos no abandonan al primer intento, siempre están en una auténtica necesidad de acceder a la red).

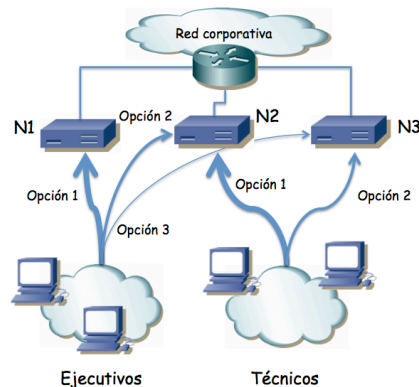


Figura 5 – Escenario del problema 20

Si no consiguen establecer la llamada desisten de trabajar remotamente. Al gestor de la empresa le interesa saber en qué medida este esquema escala a medida que tenemos más empleados móviles, entendiendo que nos interesa que los trabajadores puedan acceder a la red corporativa siempre que lo necesiten.

Suponga que los ejecutivos (entre todos) hacen una media de  $n_1$  intentos de conexión a la red privada cada hora. Los técnicos hacen una media de  $n_2$  intentos de conexión por hora. Normalmente estas cifras estarán en función del número de trabajadores. El tiempo medio durante el cual trabajan empleando un enlace establecido con la red corporativa es de  $T$  segundos.

- Calcule las intensidades de tráfico provenientes de los ejecutivos y de los técnicos
- Calcule la probabilidad de que una llamada de un ejecutivo no sea atendida por la línea N1
- Calcule el número medio de llamadas por hora que son atendidos por la línea N1
- Calcule la probabilidad de que una llamada de un técnico no sea atendida
- Calcule la probabilidad de que un ejecutivo logre acceder a la red corporativa.

21. La empresa del problema 6 llega un día que decide permitir que sus trabajadores hagan llamadas al exterior de la empresa. Para ello contrata 1 línea externa hacia la PSTN y que conecta al conmutador telefónico central. Se estima que el tráfico interno no ha cambiado pero ahora se esperan llamadas al exterior con una intensidad en la hora cargada de 0.2 Erlangs desde cada uno de los edificios. No se aceptan llamadas desde el exterior. Calcule ahora la probabilidad de que una llamada entre edificios no pueda cursarse. Calcule también la probabilidad de que una llamada al exterior no pueda cursarse. Cómo cambian los resultados si en vez de 1 línea hacia la PSTN se contratan 2? Y si son 3?