

## ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS

### Conjunto de problemas del Tema 4

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 5 líneas de entrada y 5 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: cambiar la centralita por otra con 10 líneas de entrada y alquilar esas 5 líneas de entrada extra al proveedor de telefonía (así como más operadores). ¿Es suficiente con esta ampliación?
  - c) Otra opción que nos da el proveedor de servicio es mantener esas 5 líneas y 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 redirija. ¿Qué intensidad de tráfico podemos esperar que se redirija al segundo centro de servicio? ¿Cuántas llamadas por minuto se redirigirían?

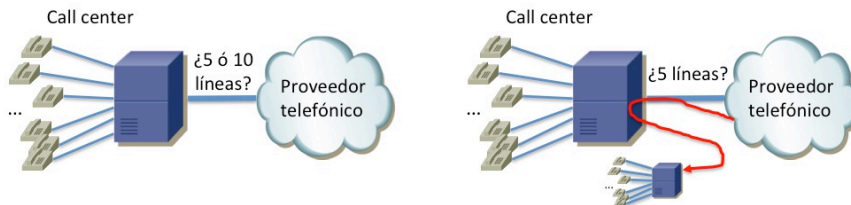


Figura 1.- Escenario del problema 5

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. En ambos edificios hay una gran cantidad de usuarios con línea telefónica de la central correspondiente. El enlace entre las dos centrales tiene capacidad de 8 líneas. 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. 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 usuarios de su red así como con el exterior vienen dadas por la tabla 1. 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 en el edificio A un call center con 8 operadoras que responden a llamadas al número de la promoción. Estos operadores no pueden hacer llamadas y solo están para atender a las llamadas de la promoción. 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 exterior debido a la promoción?  
 b) ¿Qué fracción de las llamadas de la promoción es rechazada?

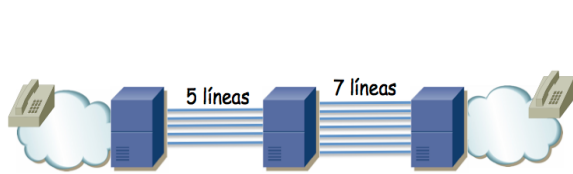


Figura 2.- Escenario del problema 6

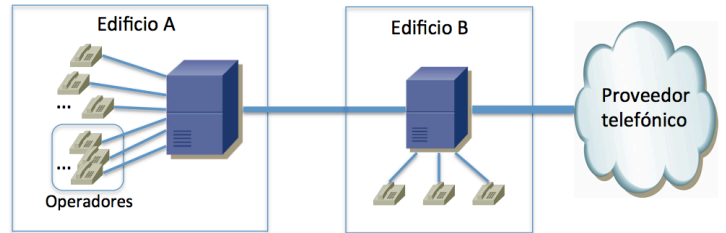


Figura 3.- Escenario del problema 9

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 doce 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.

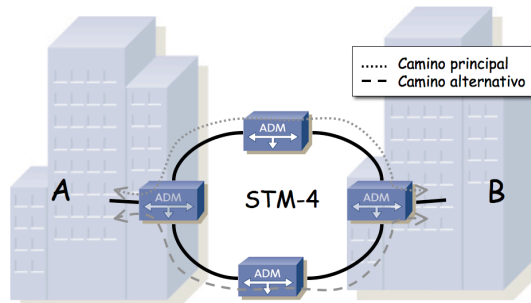


Figura 4.- Red de GhostISP

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  $T_r$  segundos, disculpándose la empresa por la saturación de las líneas. En caso de que el cliente encuentre un operador libre suele tardar en media  $T_1$  segundos 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  $T_2$  segundos en atenderle. Se supone que los operadores del nivel 2 siempre resuelven el problema del cliente.

- Indique qué proporción de las llamadas no logra ser atendida por operadores del primer nivel.
- Indique qué proporción de las llamadas son redirigidas al segundo nivel de atención especializada.
- Indique qué proporción de las llamadas son redirigidas al segundo nivel pero no logran ser atendidas.
- 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 basic. 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.

- Calcule el número de películas al año que se atiende de los usuarios premium y el número de los usuarios basic.
- Los usuarios premium pagan por cada película que ven 10 veces más que los usuarios basic. 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 N1. Si N1 les sale que está ocupado, una fracción  $P$  de ellos intenta llamar al N2 y si ese les sale también ocupado llaman al N3 (todos los se bloquean en N1 y deciden intentar con N2, si les falla lo intentan con N3, 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).

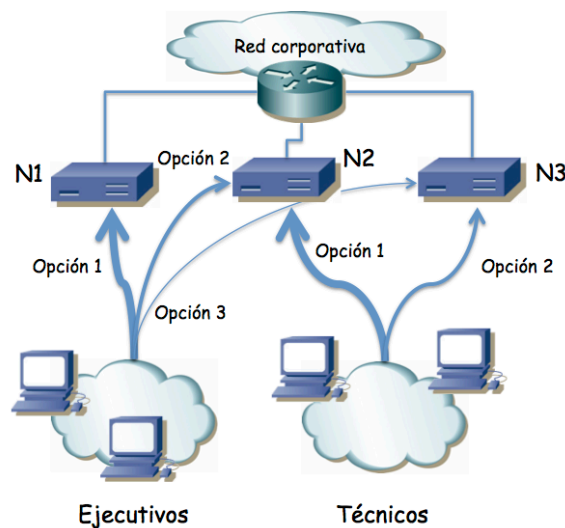


Figura 5 – Escenario del problema 20

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 atendidas 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?

22. Un conjunto de 110 aerogeneradores emplea telefonía móvil inalámbrica para comunicar datos de estado a la sede central de la empresa que los gestiona. Cada uno de estos aerogeneradores dispone de un módem GSM y hace llamadas telefónicas a la sede central de forma aleatoria para evitar que los aerogeneradores se sincronicen y llamen todos al mismo tiempo. Se va a programar que los aerogeneradores en media hagan una llamada cada 5 minutos. La duración de cada una de esas llamadas depende de la cantidad de datos que deba intercambiar el aerogenerador con los ordenadores de la sede central. La cantidad de datos es aleatoria con media 40 KBytes y se transfieren durante la llamada a una velocidad de 9.600 bps. 70 de esos aerogeneradores (grupo A) emplean la estación base de telefonía móvil asociada al conmutador telefónico  $S_A$ . El canal inalámbrico de esta estación base tiene reservados 20 canales para las llamadas desde los aerogeneradores. Los 40 aerogeneradores restantes (grupo B) emplean la estación base asociada al conmutador telefónico  $S_B$ . El canal inalámbrico de esta estación base tiene reservados 15 canales para las llamadas desde los aerogeneradores. El conmutador  $S_A$  tiene un enlace directo con otro conmutador  $S_B$ . Este enlace tiene capacidad para un máximo de 32 llamadas simultáneas. El conmutador  $S_B$  tiene un enlace directo con un conmutador presente en la sede de la empresa que gestiona los aerogeneradores; dicho enlace soporta 20 llamadas simultáneas. Los conmutadores  $S_A$  y  $S_B$  dan además servicio a dos poblaciones de habitantes que hacen llamadas entre ellos así como de vez en cuando a números de teléfono de la sede central de la empresa que gestiona los aerogeneradores. Todas las llamadas siguen la ruta directa y no existen caminos alternativos.

La tabla 2 muestra la intensidad de tráfico en Erlangs entre las diferentes poblaciones (adicional al tráfico introducido por los aerogeneradores).

Origen	Destino		
	Población 1	Población 2	Sede central
Población 1		4.1	1.4
Población 2	3.2		3.1
Sede central	1.6	1.2	

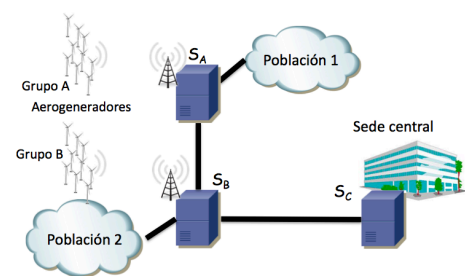


Figura 6

Tabla 2 – Intensidades de tráfico (Erlangs)

Calcule la intensidad de tráfico producida por cada población de aerogeneradores. Calcule la probabilidad de que una de las llamadas automáticas de los aerogeneradores fracase, en función del grupo de aerogeneradores al que pertenezca. Calcule el número medio de llamadas de un aerogenerador que se perderán en una semana, en función del grupo de aerogeneradores al que pertenezca. Si en un momento un operario de la sede central desea hacer una llamada a un aerogenerador para hacer una configuración manual calcule la probabilidad de que dicho intento de llamada se bloquee, en función del grupo de generadores al que vaya dirigida.

23. En la figura 7 se muestra la topología de interconexión de la red telefónica entre cuatro poblaciones de usuarios, cada una atendida por una central de conmutación diferente. Los cuatro enlaces entre centrales son de tipo E1. Las llamadas se intentan establecer siempre por el camino más corto entre las centrales y si fracasan no se reintentan por otro camino. Las llamadas entre las poblaciones A y C y entre las poblaciones B y D se encuentran con dos posibles caminos, ambos utilizando dos enlaces. En esos casos la mitad del tráfico se encamina por uno de los caminos y la otra mitad por el otro. Esto se hace probabilísticamente, independiente del estado de los enlaces. Es decir, por ejemplo al llegar una petición de llamada desde la población A hacia la población C, con una probabilidad del 50% se encamina por la ruta a través de B, y con un 50% por la ruta a través de D. Si fracasa la llamada por el camino seleccionado no se intenta por el otro. La tabla 3 muestra las intensidades de tráfico medidas en Erlangs correspondientes a los intentos de llamada entre cada pareja de poblaciones. Calcule la intensidad de tráfico ofrecida a cada enlace. Calcule la probabilidad de bloqueo de llamadas entre la población A y la población B. Calcule cuántas llamadas en media fracasan en una semana entre la población A y la B. Calcule la probabilidad de bloqueo de llamadas entre la población A y la población C. Calcule el número de llamadas totales que en media fracasan en una semana.

	A	B	C	D
A		5	20	7
B	5		3	1
C	4	4		3
D	4	1	12	

Tabla 3 - Intensidades

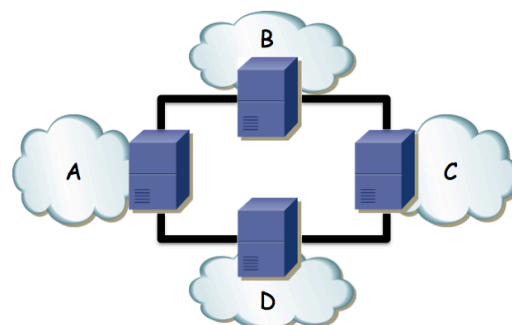


Figura 7 – Topología

24. Una operadora ofrece un servicio de TV bajo demanda sobre su red DSL. Cada usuario tiene un enlace DSL dedicado con una tasa de transmisión efectiva de 10Mbps en el sentido descendente (desde el equipo en la central local de la operadora hasta la residencia del usuario). Un equipo en la central local tiene un enlace directo con un nodo de distribución. Cada nodo de distribución tiene un receptor de señales aéreas (una antena) por el cual recibe los canales de TV digital y almacena programas en disco para posterior transmisión en diferido. El servicio que se ofrece a los usuarios no es de ver la TV en directo, pues eso ya lo tienen por las antenas comunitarias de sus viviendas, sino que se ofrece el envío en diferido de programas grabados. La operadora almacena en cada nodo de distribución todos los programas que se han emitido en la última semana y permite a los usuarios solicitarle el que desean ver. Ante una petición de un usuario, el nodo de distribución envía al mismo, a través de la central local, el vídeo solicitado.

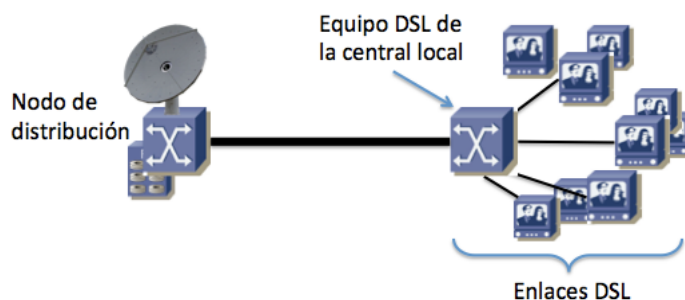


Figura 8

Los vídeos se almacenan y envían con una codificación de tasa constante a 6Mbps. El enlace entre un nodo de distribución y una central local es de 150Mbps full-duplex. Si se congestiona dicho enlace no se podrán atender nuevas peticiones hasta que finalice alguna emisión y las que se reciban mientras tanto se rechazan con un error. Los vídeos se envían en streaming, por lo que dura su transmisión hacia el usuario tanto como duró la emisión del programa original.

Se clasifican los programas disponibles en tres tipos: “películas”, “documentales” y “series”. Las películas tienen una duración media de 120 minutos, los documentales de 60 minutos y las series capítulos de 30 minutos.

Un usuario en media solicita ver a lo largo de una semana 1.2 películas, 3.2 capítulos de series y 0.6 documentales.

- Si la población de una central es de 500 usuarios calcule la intensidad de tráfico media en Erlangs que suponen las peticiones de vídeos que hacen hacia el nodo de distribución
- Calcule o explique cómo calcularía el número máximo de usuarios que podría tener en una central local para que la probabilidad de que un vídeo no se pueda servir no exceda el 1%

25. Una unidad muy empleada para la intensidad de tráfico son los CCS, Century Call Seconds per hour o centenares de segundos de llamada por hora. Como el nombre indica, miden el número de centenares de segundos de llamada que se dan en una hora. Calcule a cuántos CCS equivale 1 Erlang

26. Calcule cuál es la probabilidad de que en un intervalo de 10 minutos se produzcan exactamente 5 llamadas si la tasa media de llamadas por unidad de tiempo es de 7 llamadas por hora.

27. Si la duración media de las llamadas telefónicas viene descrita por una variable aleatoria exponencial con media de 3 minutos calcule cuál es la probabilidad de que una llamada dure más de 3 minutos.

28. Una centralita de un call-center atiende llamadas de dos poblaciones de usuarios A y B. Hay dos conjuntos de operadores para atender las llamadas, el conjunto O1 y el conjunto O2. Hay 20 operadores en el conjunto O1 y 25 en el conjunto O2. La centralita no es capaz de dejar llamadas en espera. Se están planteando las siguientes configuraciones de la centralita:

- Todas las llamadas de la población A son dirigidas a los operadores O1 y las de la población B a los operadores O2
  - Las llamadas de un usuario de cualquier población pueden dirigirse a cualquiera de los operadores que se encuentre disponible
- Las llamadas de los usuarios de la población A son en media de 5 minutos. Los usuarios de la población A hacen una media (entre todos) de 120 llamadas por hora. Las llamadas de los usuarios de la población B son en media de 8 minutos. Hay 250.000 usuarios en la población B y cada uno hace una media de 3.8 llamadas al año. Calcule cuántas llamadas en media en un año dejarían de atenderse con cada una de las configuraciones. A continuación, suponiendo el escenario (a) anterior, se decide mejorarlo redirigiendo todas las llamadas bloqueadas a un servicio de medición de calidad. Es un servicio donde se le dice al usuario que no se le ha podido atender por congestión en las líneas y se le hace una pequeña encuesta. Este servicio está ofrecido por una empresa externa así que todas las llamadas bloqueadas son redirigidas al servicio automático ofrecido por dicha empresa. Muchas otras empresas en situación similar recurren también a sus servicios. Emplean encuestas diferentes cada una pero en general entre todas suponen una intensidad de 2 Erlangs para este servicio. Si se quiere hacer la encuesta a los usuarios de la nueva empresa con una duración de 5 minutos, ¿cuántas encuestas simultáneas debe soportar el equipamiento de dicha empresa para poder garantizar que como mucho en torno a 1 de cada 1.000 no podrá llevarse a cabo? Siguiendo con este escenario, ¿en media cuántas veces al año un usuario de la población A intentará llamar pero ni se le atenderá ni podrá hacer la encuesta?

29. Suponga que cada usuario telefónico de una empresa hace en media 9 llamadas al exterior a lo largo de su jornada laboral de 9am a 5pm y dichas llamadas son de 3 minutos de duración. La centralita de la empresa dispone de 1 línea con el exterior. Calcule cuántos usuarios debería tener como máximo la centralita de dicha empresa para que en media, a lo largo de una jornada, no se produzcan más de dos fracasos en intentos de hacer una llamada al exterior.

30. Una pequeña empresa de desarrollo de software va a poner a la venta una aplicación de distribución de noticias que requiere el empleo de servicios en la nube implementados mediante servicios web. Estiman vender una gran cantidad de unidades los primeros días y que posteriormente se estanquen las ventas. Van a trabajar con una estimación de 600.000 usuarios. Cada uno de esos usuarios empleará la aplicación una media de 2 veces al día. La aplicación de los usuarios intenta acceder a los servidores de contenidos configurados por la empresa cuando se arranca para actualizar la información local con las novedades. La empresa desea que tengan éxito todas las peticiones de actualización de información sin excepción y se está planteando comprar un cierto número de máquinas para el papel de servidor, que hospedaría en el centro de datos de una empresa especializada. Han pensado en comprar máquinas que son capaces de atender a 15 peticiones de los usuarios de forma simultánea tardando un tiempo medio de 5 segundos por petición. Si las máquinas están al límite de su capacidad rechazan las nuevas peticiones de servicio hasta terminar con alguna anterior. Para atender a las peticiones que lleguen cuando todos sus servidores estén congestionados se contrata que dichas peticiones se redirijan a un servicio de cómputo en la nube que les cobrará por tiempo de uso del servicio. Tiene la ventaja añadida de que los tiempos de servicio bajan a una media de 3 segundos por petición. A efectos prácticos se puede considerar que este servicio en la nube cuenta con recursos ilimitados. Están dudando entre comprar 3, 4 ó 5 servidores. Para cada uno de esos escenarios calcule el número medio de segundos de uso en un año que se haría del servicio en la nube.

31. Se va a emplear un cierto microcontrolador A para recibir una serie de señales de alarma de un conjunto de dispositivos. Cuando se produce una alarma, un dispositivo de entrada/salida notifica al controlador, el cual tarda en procesar dicha alarma un cierto número de ciclos de reloj. Mientras está procesando una alarma no puede atender otra y en caso de producirse otra, esta última se perdería. Las alarmas pueden producirse en cualquier momento pero se puede suponer que no se dan dos exactamente en el mismo instante. Existen dos tipos de fuentes de alarmas. El primer tipo (dispositivos F1) producen alarmas en instantes aleatorios, en media una cada 50 minutos. El segundo tipo (dispositivos F2) producen alarmas en instantes aleatorios, en media una cada 35 minutos. Las alarmas de los dispositivos F1 tardan siempre 10.000 ciclos de reloj en procesarse mientras que las de tipo F2 tardan un tiempo entre 12.000 y 15.000 ciclos de reloj, todos equiprobables. Se han conectado 30 dispositivos F1 y 40 dispositivos F2 al microcontrolador. El microcontrolador emplea un oscilador a 4KHz. El conjunto de alarmas de un tipo de dispositivos se puede suponer que se producen según un proceso de llegadas de Poisson. Calcule la probabilidad de que una alarma de un dispositivo cualquiera no pueda ser atendida. Calcule el número medio de alarmas de cada dispositivo F1 que se perderían en un año y el número medio que se perderían de cada dispositivo F2. Como alternativa de diseño se plantea emplear el microcontrolador B, el cual no puede usar un oscilador de más de 2KHz, pero como es más barato entraría en el presupuesto colocar dos. Se propone repartir los dispositivos, de forma que los F1 sean atendidos por un microcontrolador B1 y los F2 sean atendidos por un microcontrolador idéntico B2. Los de un tipo no podrían emplear el microcontrolador reservado a los de otro. Dados los parámetros pedidos con anterioridad calcule y comente si esta solución otorga mejores resultados.

32. Una empresa ofrece un servicio de hosting basado en máquinas virtuales. Poseen 20 servidores, los cuales cada uno es capaz de tener corriendo simultáneamente un máximo de 6 máquinas virtuales manteniendo las garantías de rendimiento que ofrecen a sus clientes. Cuando todos los servidores están saturados, nuevas peticiones de creación de máquina virtual reciben un error como respuesta. Las máquinas virtuales no están activas permanentemente sino únicamente cuando un cliente las necesita para ejecutar una aplicación remotamente. La empresa de hosting vende su servicio a otras empresas y ahora mismo tiene 45 clientes. Cada una de estas empresas cliente tiene copiada en todos los servidores la imagen de una máquina virtual con todas las aplicaciones que necesitan. Cada vez que un empleado de una empresa cliente quiere usar una de las aplicaciones corporativas, se pone en funcionamiento una nueva máquina virtual que es copia de la máquina virtual base de su empresa. Cuando termina de usar la máquina virtual se destruye, de forma que cada vez que se lanza una es una copia de la original no modificada. Se pueden tener ejecutando múltiples máquinas virtuales copia de la misma imagen base. Cada empresa cliente tiene en media 20 empleados y se estima que un empleado típico de cualquiera de estas empresas emplea en media 1.3 máquinas virtuales nuevas al día durante un periodo medio de 50 minutos cada vez. Todas las empresas tienen la misma jornada de trabajo de 9am a 5pm. Calcule o deje indicado cómo calcular claramente el número medio de veces al mes que los usuarios de una empresa no logran crear una máquina virtual por congestión de los servidores.

33. Un enlace troncal recibe llamadas según un proceso de Poisson con una tasa de llegadas de una por minuto. Las llamadas tienen una duración media de 2 minutos. Suponiendo que el enlace troncal tiene suficientes canales para cursar todas las llamadas que se quieran establecer en un instante cualquiera, calcule el porcentaje del tráfico total que es cursado por los 5 primeros canales (supondremos que las llamadas siempre se establecen en el canal libre de menor orden).

34. Un conjunto de 88 terminales telefónicos están activos (cada uno) un 10% del tiempo. En la primera configuración propuesta se agrupan los terminales en 4 grupos de igual tamaño (22 terminales cada grupo) y cada uno de esos grupos cursa llamadas por un enlace troncal con K canales. En total se tienen  $4 \times K$  canales. En la segunda configuración los 88 terminales emplean el mismo enlace troncal con L canales. Se tiene un objetivo de una probabilidad máxima de bloqueo de un 5%. Calcule el número de canales necesario en cada configuración.

35. La central primaria P (figura 9) atiende a tres centrales locales A, B y C. Los enlaces entre las centrales locales y la primaria soportan 10, 15 y 18 llamadas simultáneas respectivamente. La central primaria tiene un enlace hacia una central secundaria por la red jerárquica que permite 10 llamadas simultáneas. Las intensidades de tráfico entre cada central se ven en la tabla 1 (medidas en Erlangs). Supondremos llamadas con una duración media de 3 minutos. Calcule el número medio al año de llamadas que intentan hacer los usuarios de la central A. Calcule el número medio al año de llamadas que intentan emplear el enlace de la central C por la red jerárquica. Calcule la probabilidad de que fracase una llamada de un usuario de la central A a un usuario de la central C.

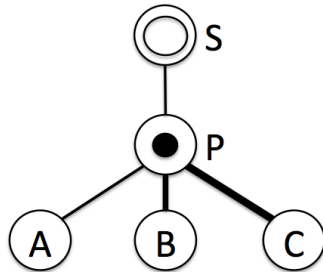


Figura 9

Origen	Destino			
	A	B	C	Otros
A	-	0.5	2.5	0.1
B	1	-	5	0.1
C	1	3.5	-	0.2
Otros	0.1	0.1	0.5	-

Tabla 4

36. Una empresa de venta de teléfonos móviles tiene 200 oficinas distribuidas por diferentes ciudades. En cada oficina hay una media de 4 trabajadores con ordenadores independientes, así como dos impresoras en red. Estos trabajadores emplean varios paquetes de software que se encuentran en servidores centrales de la empresa. El software les sirve para hacer pedidos, crear facturas, dar de alta a nuevos clientes, etc.

Para acceder al software primero deben autenticarse en el servidor principal de la empresa, en el cual se encuentran las credenciales de todos los usuarios. En la franja de 7:30 a 8:00 todos los trabajadores llegan a su oficina e inician una sesión. Existe un servidor de autenticación principal de la empresa que atiende las peticiones una a una, tardando 100ms por cada una. En caso de que llegue una petición de autenticación mientras se está atendiendo a otro usuario anterior se redirige la nueva a un servidor secundario de autenticación. El servidor secundario atiende las peticiones una a una, con un retardo en hacer la autenticación de 200ms, y si puede dejarlas esperando en caso de estar ocupado (puede tener un máximo de 1000 peticiones a la espera).

Una vez autenticado un usuario se le redirige a uno de los servidores de aplicaciones que posee la empresa, los cuales son todos iguales. El servidor de aplicaciones le envía el listado de las que puede emplear y con eso ya puede empezar a trabajar con ellas. Cada uno de esos servidores es capaz de atender a 10 usuarios simultáneamente y es responsable de ejecutar las aplicaciones corporativas por ellos. Cuando un servidor tiene ya 10 usuarios, los nuevos que se autentifiquen se dirigirán a otro servidor. Un usuario mantiene la sesión durante las 8 horas que dura su jornada de trabajo a contar desde las 8:00.

A las 8:30 abren las oficinas y a partir de ahí en cualquier momento un usuario que está empleando alguna aplicación de su servidor asignado puede solicitar imprimir un documento, el cual se imprime en una cualquiera de las impresoras en red que tiene localmente en su oficina. Un usuario en media imprime 15 documentos al día, cada uno en media de 5.5 páginas. Las impresoras tardan 3 segundos por cada página que tienen que imprimir y no soportan cola de impresión por lo que si llega una nueva petición mientras las dos impresoras de una oficina están ocupadas se devuelve un error al usuario que está intentando imprimir.

Añada a los cálculos las hipótesis que considere razonables, coméntelas y justifíquelas.

- Calcule el número medio al día de autenticaciones que resuelve el primer servidor
- Calcule el número de servidores de aplicaciones que necesita la empresa para poder atender a todos sus empleados
- Calcule la probabilidad de que un usuario al intentar imprimir se le devuelva un error
- Se va a lanzar un nuevo modelo de teléfono móvil que se espera que tenga mucho éxito, lo cual puede aumentar el número de contratos que mandan a imprimir los trabajadores. Calcule el número medio de documentos al día que podrían mandar a imprimir como máximo un usuario medio tal que la probabilidad de error en la impresión no exceda del 0.2%



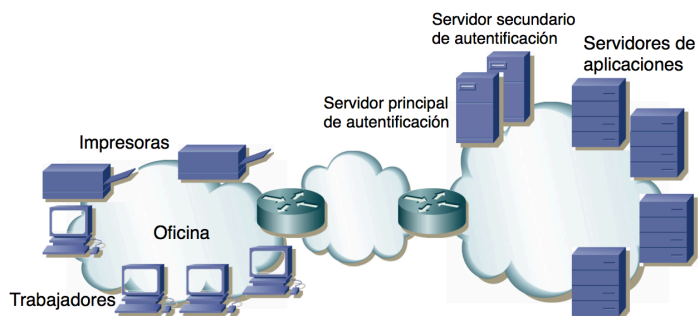


Figura 10 – Escenario del problema 36

37. Una pequeña población A cuenta con una centralita telefónica local para dar servicio a 510 usuarios de línea fija. Esta centralita tiene un enlace con una central primaria que se encuentra en otra población. El enlace es un E1. Esa central primaria tiene abonados, que son los de esta población, en total 12.000 líneas fijas. De esta central hay un enlace a una central secundaria con capacidad para 90 llamadas simultáneas.

El usuario medio de la población A realiza en la hora cargada 0.4 llamadas por hora. El usuario medio de la población B en la hora cargada realiza 0.2 llamadas por hora. Las llamadas originadas en los terminales de la población A tienen una duración media de 2.5 minutos y las de la población B de 3.2 minutos.

El 30% de las llamadas desde la población A se dirigen a otros usuarios de la misma población. El 20% se dirigen a usuarios fijos de la población B y el 50% restante al resto de la red telefónica.

El 60% de las llamadas desde los terminales fijos de la población B se dirigen a otros usuarios de la misma población. El 10% se dirigen a usuarios de la población A y el 30% restante al resto de la red telefónica.

Desde el exterior se recibe una intensidad de tráfico de 5 Erlangs dirigida a los usuarios de la población A y de 15 Erlangs dirigida a los usuarios de la población B.

Calcule el número medio de llamadas al día de los usuarios de la población A que fracasan por congestión en la troncal con la central primaria.

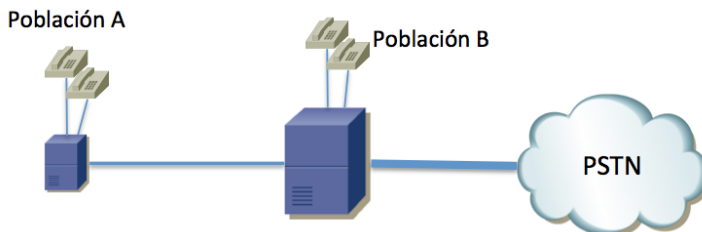
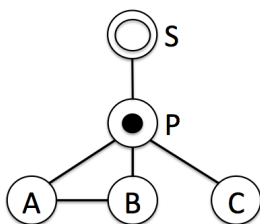


Figura 11 – Escenario del problema 37

38. La central primaria P (figura 12) atiende a tres centrales locales A, B y C. El enlace entre la central primaria y la secundaria permite 30 llamadas simultáneas. El enlace entre la central local A y la primaria P 10 llamadas simultáneas. El enlace de la central B por la red jerárquica tiene capacidad para 20 llamadas. Entre la central local A y la central local B existe un enlace de la red complementaria que permite 2 llamadas simultáneas. Las llamadas entre abonados de A y abonados de B se intentan cursar en primer lugar por la ruta directa y en caso de congestión se reintentan por la ruta final. Las intensidades de tráfico medio para la hora cargada entre cada pareja de centrales se pueden ver en la Tabla 5 (expresadas en Erlangs). Se supondrá que la probabilidad de bloqueo en un segmento de trayecto más allá de la central secundaria es despreciable.

Calcule (razone y explique el cálculo) el número mínimo de llamadas simultáneas que debe soportar el enlace por la red jerárquica de la central local C para que la probabilidad de bloqueo de llamadas entre abonados de la central A y de la central C sea de menos de un 1%.



Origen	Destino			
	A	B	C	Otros
A	-	0.5	2.5	0.1
B	0.25	-	5	0.1
C	1	3.5	-	4
Otros	0.1	0.1	10	-

Tabla 5

Figura 12 – Escenario del problema 38

39. La Figura 13 muestra la parte de la red telefónica correspondiente a una ciudad. Esta población posee 4 centrales locales con abonados y una central primaria (sin abonados). El tráfico dentro de la población es tan intenso que se han tendido secciones directas de la red complementaria entre todas las centrales locales de la población.

A la hora de encaminar una llamada entre dos abonados de distinta central local de la población, en primer lugar se intenta por la sección directa con la central local destino y en caso de bloqueo se recurre a la ruta final.

Llamaremos 'n' al número de llamadas medio que intenta un solo usuario en la hora cargada a usuarios de las otras poblaciones, con reparto uniforme entre las poblaciones destino. Es decir, un usuario de la población asociada a la central local 1 intenta en la hora cargada en media  $n/3$  llamadas a usuarios de la población de la central 2, otras  $n/3$  a usuarios de la población de la central 3 y otros  $n/3$  a usuarios de la población de la central 4.

Llamaremos  $I_{k,ext}$  a la intensidad de tráfico en la sección primaria de la central 'k' debida exclusivamente a las llamadas de los usuarios de esa central local con el exterior de la ciudad (llamadas al exterior o desde el exterior, todas juntas).

Llamaremos 'c' al número de canales en cada sección directa de la red complementaria (misma capacidad en todas) y supondremos que la capacidad de las secciones finales es el doble ( $2c$ ).

Supondremos despreciable la probabilidad de bloqueo desde la central primaria hacia el resto de la red.

Cada una de las centrales locales da servicio a N abonados. Supondremos que la duración media de las llamadas es de T segundos.

El número de abonados de cada central es muy grande en comparación con el número de canales en los enlaces.

- Calcule la intensidad media de tráfico ofrecido en la sección directa entre la central 3 y la central 4
- Calcule la intensidad media de tráfico ofrecido en la sección primaria de la central 3
- Calcule la probabilidad de bloqueo de llamada para usuarios de la población de la central 3 a usuarios servidos por otra central local cualquiera de la ciudad
- Calcule el número medio de llamadas cursadas al mes por la sección primaria de la central 3

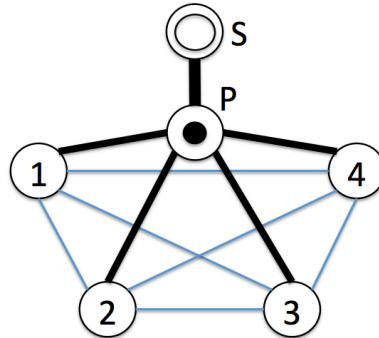


Figura 13 – Topología del problema

40. Un operador de telefonía móvil tiene una estación base cerca de un estadio de fútbol. En el canal aéreo emplea la tasa de transmisión de un E1, con 2 canales de voz PCM reservados (solo se pueden utilizar los restantes). De esa capacidad, cada llamada telefónica reserva un circuito a 40Kbps. En un día "normal" se espera una intensidad de tráfico en la hora cargada en la zona cubierta por esa estación base de unos 53 Erlangs.

Los días en que hay un partido importante, durante el descanso se incrementa la intensidad de tráfico en un factor de 10 respecto a un día normal. Para compensar, el operador reconfigura su estación base para que ahora los teléfonos compriman más el flujo de voz con lo que cada llamada ocupa solo 20Kbps. La calidad del sonido es peor pero menos clientes se quedarán sin ser atendidos.

- Calcule en cuánto aumenta la probabilidad de bloqueo entre un día normal y el descanso de un partido. Expréselo como el cociente entre ambas.
- El operador se plantea aumentar la capacidad del canal aéreo puntualmente en los días de partido. Calcule cuánto debería incrementarse la capacidad en bits por segundo para que la probabilidad de bloqueo sea aproximadamente igual a la de los días normales (se seguiría reduciendo la tasa de transmisión del codificador en esos días de partido importante).