

ARQUITECTURA DE REDES, SISTEMAS Y SERVICIOS

Conjunto de problemas 5.3 (2026-2027)

- Un conjunto de 110 aerogeneradores emplea telefonía móvil inalámbrica para comunicar datos de estado a la sede central de la empresa que los gestiona (Figura 1). 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 9600 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 el 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 1 muestra la intensidad de tráfico en Erlangs entre las diferentes poblaciones (adicional al tráfico introducido por los aerogeneradores).

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.

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	

Tabla 1 – Intensidades de tráfico (Erlangs)

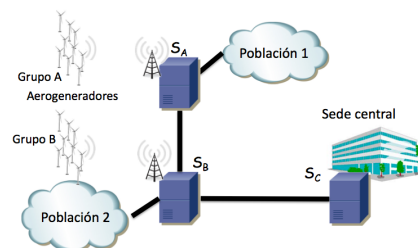


Figura 1

Solución: http://www.tlm.unavarra.es/videos/daniel/docencia/arss_itt/arss_itt26_27/?method=showVideo&videoId=552462e5

- 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?

Solución: http://www.tlm.unavarra.es/videos/daniel/docencia/arss_itt/arss_itt26_27/?method=showVideo&videoId=8ba2584b

- 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 (Figura 2).

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.

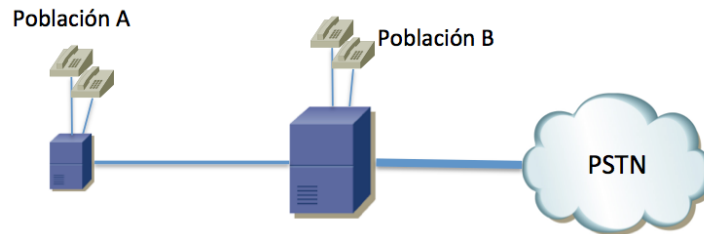


Figura 2 – Escenario del problema

Solución: http://www.tlm.unavarra.es/videos/daniel/docencia/arss_itt/arss_itt26_27/?method=showVideo&videoId=606dfb33

4. La Figura 3 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

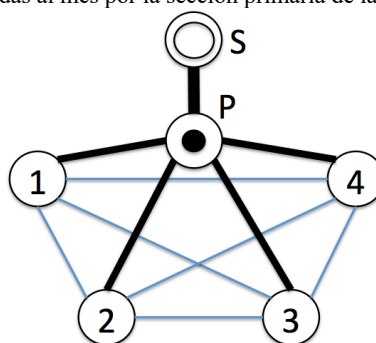


Figura 3 – Topología del problema

Solución: http://www.tlm.unavarra.es/videos/daniel/docencia/arss_itt/arss_itt26_27/?method=showVideo&videoId=aec7c297

5. Una central telefónica da servicio a N usuarios. Su único enlace con el resto de la red telefónica es mediante la sección final. La capacidad de dicho enlace es para c llamadas simultáneas. Para dimensionar la capacidad necesaria para este enlace se supuso que en la hora cargada un usuario de esta generaría una intensidad de tráfico promedio de 0.01 Erlangs. En general, sea la hora cargada o no, podremos suponer que la duración media de las llamadas es de 3 minutos. El objetivo de calidad que se planteó la operadora fue no exceder el 3% de llamadas bloqueadas en ese enlace en la hora cargada.

En la operación normal de la central se ha medido que la población tiene un comportamiento diferente según el horario. De 8:00 a 20:00 se puede suponer que la intensidad de tráfico por usuario es de unos 0.005 Erlangs, mientras que de 20:00 a 8:00 es de 0.001 Erlangs.

La operadora cobra K_e € por establecimiento de llamada. En el intervalo de 8:00 a 20:00 cobra además K_d €/min de duración de llamada, mientras que de 20:00 a 8:00 solo cobra el establecimiento.

¿Cuántas llamadas en media debe intentar por hora un usuario para dar esa intensidad de tráfico tomada como referencia para la hora cargada?

Calcule o describa el cálculo del menor número de líneas c para poder alcanzar el objetivo de calidad planteado para esa sección final.

Calcule o describa el cálculo del beneficio que obtiene en un día típico la operadora.

Calcule o describa el cálculo del máximo beneficio que podría obtener en 1 día la operadora si aumenta el número de canales en el enlace troncal hasta hacer despreciable la probabilidad de bloqueo en el mismo.

Solución: http://www.tlm.unavarra.es/videos/daniel/docencia/arss_itt/arss_itt26_27/?method=showVideo&videoId=b83c260f

6. 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.
7. En la Figura 4 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 2 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 2 – Intensidades (Erlangs)

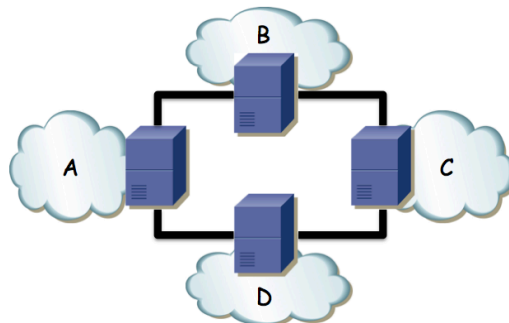


Figura 4 – Topología

8. 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 10Mb/s 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.

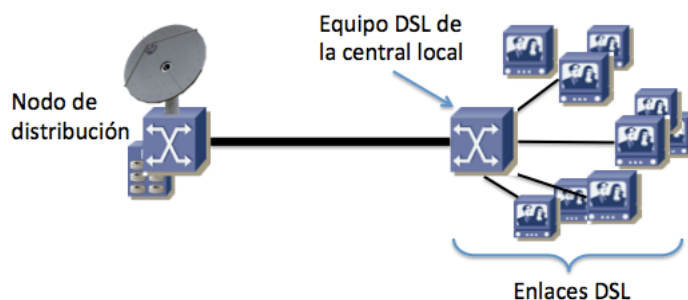


Figura 5

Los vídeos se almacenan y envían con una codificación de tasa constante a 6Mb/s. El enlace entre un nodo de distribución y una central local es de 150Mb/s 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%.

9. Una universidad ofrece un servicio 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 estudiantes. 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 los usuarios las necesitan para correr aplicaciones remotamente. El servicio es empleado ahora mismo por 45 asignaturas de la universidad. La imagen de la máquina virtual que instancian los usuarios de una asignatura se encuentra copiada en todos los servidores. Cada vez que un usuario quiere usar una de las aplicaciones recomendadas crea una nueva máquina virtual a partir de la imagen de la asignatura. 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 asignatura tiene en media 20 estudiantes y se estima que un estudiante típico de cualquiera de estas asignaturas emplea en media 1.3 máquinas virtuales nuevas al día durante un periodo medio de 50 minutos cada vez. Todas las asignaturas tienen el mismo horario de disponibilidad conjunta de laboratorios que es de 9am a 5pm. Calcule o deje indicado cómo calcular claramente el número medio de veces al mes que los estudiantes de una asignatura no logran crear una máquina virtual por congestión de los servidores.

10. La central primaria P (Figura 6) 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 3 (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.

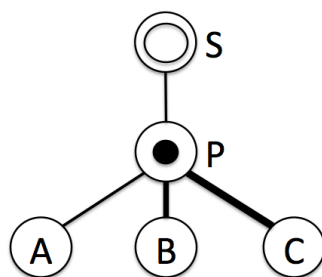


Figura 6

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 3

11. Una empresa de venta de teléfonos móviles tiene 200 oficinas distribuidas por diferentes ciudades (Figura 7). 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 sí 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%

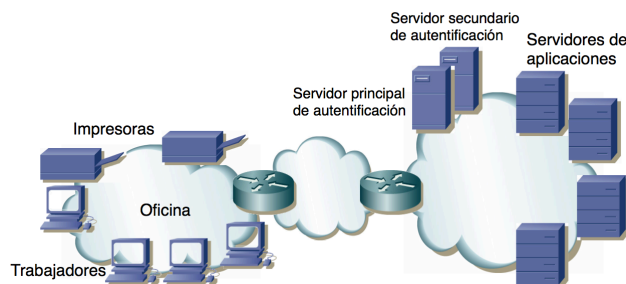
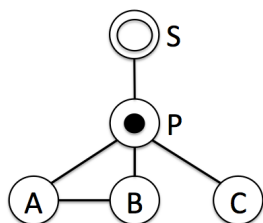


Figura 7 – Escenario del problema

12. La central primaria P (Figura 8) 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 4 (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 4

Figura 8 – Escenario del problema

13. La central primaria P (Figura 9) atiende a tres centrales locales A, B y C. Llamaremos C_p al número de canales de la sección secundaria de la figura. Llamaremos C_A , C_B y C_C al número de canales de las secciones primarias de A, B y C respectivamente. Llamaremos C_S al número de canales de la sección de la red complementaria que se muestra en la figura.

Llamaremos I_{xy} a la intensidad de tráfico, medida en Erlangs, en la hora cargada de llamadas iniciadas por el total de abonados de la central "x" dirigidas a abonados de la central "y". Para hacer referencia a abonados de centrales del resto de la red, que no aparecen en la figura, en lugar de la letra de la central pondremos el subíndice "ext" para hacer referencia al "exterior" respecto a esta topología; por ejemplo $I_{A,ext}$ o $I_{ext,C}$. Supondremos despreciable la probabilidad de bloqueo de llamada en el resto de la red. Llamaremos N_x al número de abonados de la central "x". Las llamadas se intentan cursar siempre por el camino más corto en número de saltos y solo ante congestión de dicho camino se emplea la siguiente alternativa.

Suponiendo que todo lo mencionado hasta ahora son datos, explique cómo calcularía la probabilidad de bloqueo de llamadas de abonados de la central A dirigidas a abonados de la central C. Explique las hipótesis que necesite añadir.

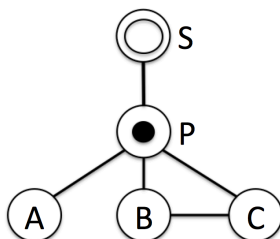


Figura 9 – Topología del problema