

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS TELEMÁTICOS
ASIGNATURA: REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
EXAMEN EXTRAORDINARIO de JULIO: 8-7-2013.

EJERCICIO 1

DURACIÓN: 40 MINUTOS, PUNTUACIÓN: 10/3 puntos.

Un grupo de compañías aéreas contrata un servicio de comunicaciones telefónicas vía satélite para permitir que los pasajeros puedan realizar llamadas durante el vuelo. En el área del Atlántico norte el servicio está proporcionado por un único satélite que cubre toda la zona. El satélite dispone de N canales telefónicos para toda la zona. En dicha área hay, en los días de más tránsito, 400 vuelos diarios que supondremos repartidos uniformemente geográficamente y a lo largo de las 24 horas. En un vuelo se realizan en media unas 15 llamadas, de duración media 3 minutos.

1. Si se desea una probabilidad de rechazo de llamada menor del 2%, ¿cuántos canales telefónicos (N) debe tener como mínimo el sistema telefónico vía satélite descrito?

Las compañías aéreas se plantean ofrecer el servicio usando un sistema que, en lugar de consistir en un único satélite que cubre toda el área del Atlántico norte, conste de varios satélites más próximos a la Tierra y que en conjunto ofrezcan un servicio de características similares a la telefonía celular terrestre donde se comportarían como estaciones base.

Concretamente, el sistema considerado divide el área del Atlántico norte en 14 células, tiene 42 pares de portadoras y usa un factor de reutilización $k=7$.

En cada portadora maneja un multiplex por división en el tiempo con trama de 40 ms de duración que tiene tres slots, cada uno de ellos para transmitir un canal de voz de 4800 bps.

2. ¿Cuántos bits de voz digitalizada se transmiten en cada slot de la trama?
3. ¿Cuál sería el número máximo de vuelos diarios que se podría soportar si se desea que la probabilidad de rechazo de llamada no supere el 1%?

El sistema debería mantener, además, 4 canales dúplex de 1200 bps, en cada par de portadoras, para monitorización y control de los aviones (aviónica). El control de un avión requiere el uso de uno de estos canales.

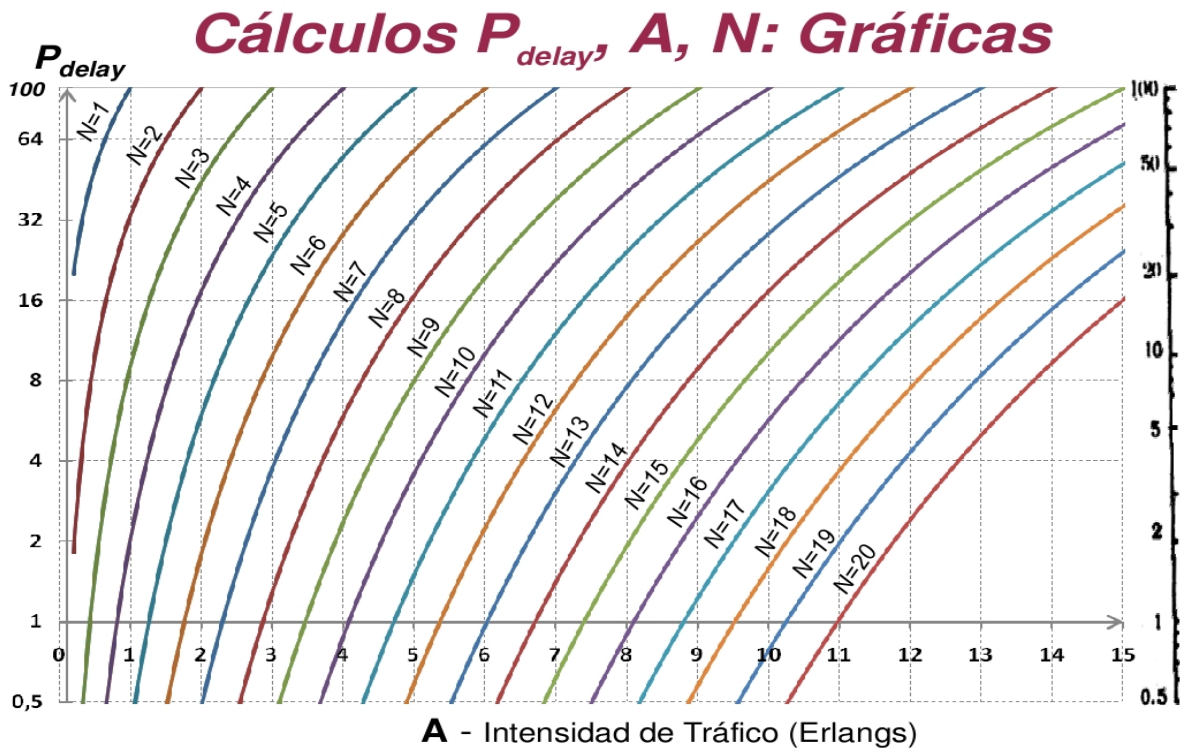
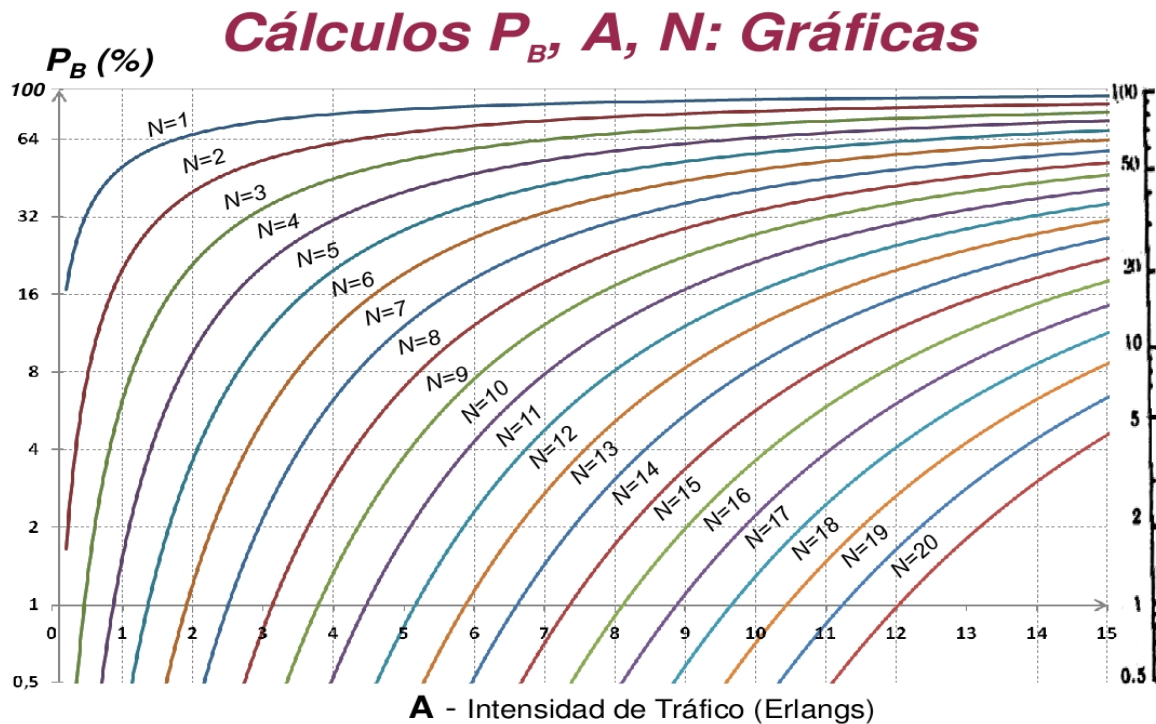
Para conseguirlo se aumenta la eficiencia espectral de forma que se puede añadir un cuarto "slot" en la trama sin cambiar su duración; "slot" que se va a emplear para los datos de aviónica. Supuesto que los canales dúplex de voz se identifican como V1, V2 y V3, y los de aviónica como A1, A2, A3 y A4:

4. Dibujar los formatos de trama y multitrama a utilizar (tiempos y bits).
5. Calcular, justificadamente, el número máximo de aviones que se podrían gestionar simultáneamente en el sistema.

NOTAS: Suponer despreciable la información de señalización necesaria en el sistema.

NORMAS DEL EXAMEN:

1. Recordamos que se pueden usar libros y apuntes pero **no ejercicios resueltos**.
2. No se deben entregar soluciones de ejercicios diferentes en la misma hoja.
3. Se entregarán los enunciados como primera hoja de cada problema.
4. El examen se debe entregar con todas las hojas dobladas en un único bloque.
5. Se debe poner el nombre en todas las hojas entregadas.
6. Las fechas de publicación de calificaciones y el límite de petición de revisión son:
 1. Calificaciones provisionales: 16-7-13
 2. Límite petición de revisión: 18-7-13



EJERCICIO 1

- 1/ 400 vuelos diarios, uniformemente repartidos geográficamente y temporalmente.

$$\lambda_{\text{avión}} = 15 \text{ el/vuelo}$$

$$\frac{1}{\mu} = 3 \text{ min.}$$

→ Llamadas telefónicas: llegadas poissonianas, duración exponencial
Modelo de Erlang-B

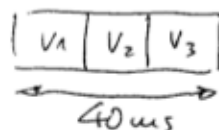
$$\lambda_{\text{Atl. Norte}} = \frac{400 \times 15}{24} = 250 \text{ el/hora}$$

$$A = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{250}{60} \cdot 3 = 12,5 \in \text{ PB } \leq 0,02$$

$$E(N, 12,5) \leq 0,02 \Rightarrow$$

$N = 20$
canales telefónicos

2/



$$4800 \text{ bps} = \frac{\text{bits en el slot de } V_i}{40 \text{ ms}}$$

$$\Rightarrow \text{bits en un slot} = 4800 \text{ bps} \times 40 \text{ ms} = 192 \text{ bits}$$

3 canales de voz V_i ($i=1,2,3$)
cada uno es de 8000 bps

3/

$$K = 17$$

42 pares de portadoras → $\frac{42}{7} = 6$ pares de portadoras por célula

Nº canales telefónicos por célula = 3 canales/portadora × 6 p.p. = 18 = N

$$\text{PB} = 0,01$$

$$\text{Modelo de Erlang-B } E(18, A) = 0,01 \Rightarrow A = 10,5 \in$$

(tráfico por célula)

Tráfico total en las 14 células del Atlántico norte = $14 \times 10,5 = 147 \in$
(sup. reparto uniforme espacialmente)

En el apartado 1 se obtenía el tráfico como

$$A = \frac{\text{Nº de vuelos diarios} \times 15 \text{ el/vuelo} \cdot \frac{3 \text{ min.}}{60 \text{ min/h.}}}{24 \text{ h/día}} = 147 \in$$

$$\Rightarrow \text{Nº vuelos diarios máximos en este sistema} = \frac{147 \cdot 60 \cdot 24}{3 \cdot 15} = 4704$$

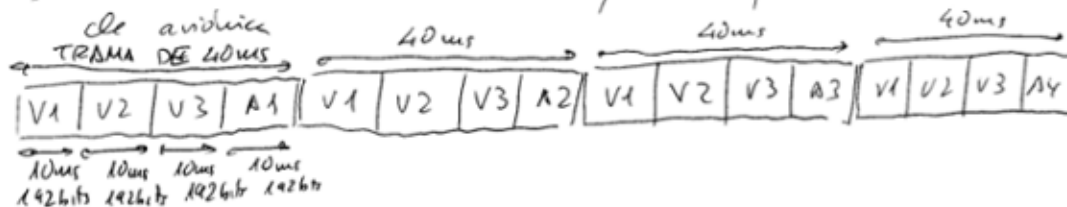
4/ Canales de audio: 4

Cada canal de 1200 bps

1 slot de 192 bits/trama ⇒ 4800 bps

→ Con un slot de cada 4 tramas se da un canal de $\frac{4800}{4} = 1200 \text{ bps}$

⇒ Una multitrama de 4 tramas permite repartir los 4 canales



Multitrama de 4 tramas (160 ms)

5/ 4 aviones controlados simultáneamente por portadora y célula

$$\Rightarrow 4 \times 6 = 24 \text{ aviones por célula} \Rightarrow 24 \times 14 = 336 \text{ aviones en las 14 células del Atl. Norte}$$

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS TELEMÁTICOS
ASIGNATURA: REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
EXAMEN EXTRAORDINARIO de JULIO: 8-7-2013.

EJERCICIO 2

DURACIÓN: 45 MINUTOS, PUNTUACIÓN: 10/3 puntos.

La red ambulatoria de una gran ciudad interconecta **3** hospitales de cada uno de cuales dependen **2** ambulatorios. En cada ambulatorio existe una LAN Gigabit conmutada, un router IP (R-XY), un servidor y otros **8** equipos finales (PCs, impresoras de red y otros equipos médicos con encaminamiento IP). En cada hospital existe una LAN Gigabit conmutada, un router IP y un servidor que da servicio a todos los ambulatorios.

La topología de la red está constituida por un anillo con los routers IP de los hospitales como nodos y los enlaces son E2 dúplex. Los routers IP en los ambulatorios se conectan por enlaces dúplex E1, punto a punto, con el router IP de su hospital. Tanto en los hospitales como en los ambulatorios la LAN conmutada permite la comunicación de todos sus sistemas entre sí, incluyendo el router IP situado en el propio centro.

La **longitud** de los paquetes intercambiados en la red puede suponerse de **1500 octetos**. Cada **equipo final** recibe paquetes de **todos y cada uno de los servidores de hospital** con una tasa $\lambda_G = 8$ pps. No existe otro tráfico significativo en la red.

Calcule **justificadamente**:

1. Las direcciones MAC (MAC-XYZ) en la tabla de “forwarding” de los switches directamente conectados con R-10 y con R-22.
2. La tabla de “forwarding” de R-10 y de R-22 supuesto que se encamina usando un algoritmo óptimo con coste igual al número de saltos. Se debe ordenar la tabla alfanuméricamente.
3. El vector de distancias de R-10 y de R-22 supuesto que ese es el encaminamiento IP utilizado en la red
4. El retardo medio en la ruta del servidor en la LAN de R-10 a un sistema final en la LAN de R-22.
5. El retardo medio en la red del tráfico significativo indicado anteriormente.

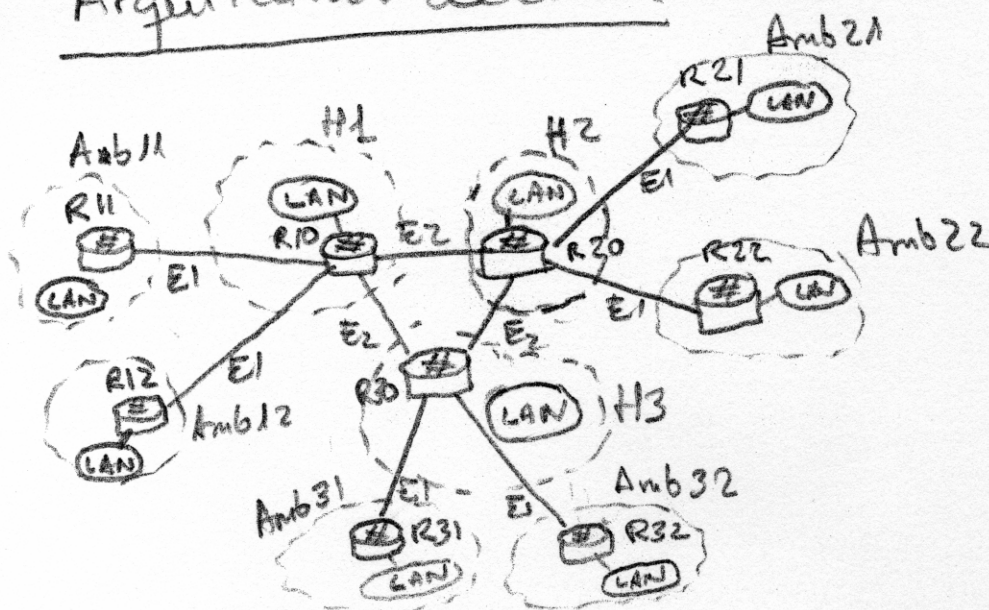
NOTAS:

- Las peticiones de información a los servidores usan el protocolo **TCP**.
- Los routers IP se identifican como **R-XY** donde **X=1, 2, 3;** identifica unívocamente **un hospital** e **Y=0, 1, 2;** identifica unívocamente **un ambulatorio** de entre los asignados a un hospital **o al propio hospital** (R-10, R-20, R-30 son los routers de los hospitales; R21 sería el router del primer ambulatorio asociado al hospital 2).
- Los equipos finales tienen direcciones MAC identificadas por **MAC-XYZ** donde **X** e **Y** son las explicadas anteriormente y **Z=0** identifica al router IP; **Z=1** identifica al servidor; y **Z=2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,** identifica unívocamente a un sistema final del ambulatorio correspondiente.
- El caudal efectivo para transmitir paquetes obtenible de un E1 es ~ 2 Mbps y el de un E2 $\sim 4 \times 2$ Mbps (1Mbps = 10^6 bps).
- La red definida se puede analizar mediante el modelo de Jackson.
- No hay otros factores que influyan significativamente en los retardos.

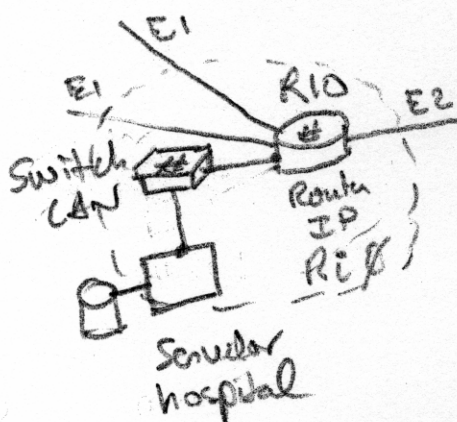
RSTC Julio 2013

Solución opción 2

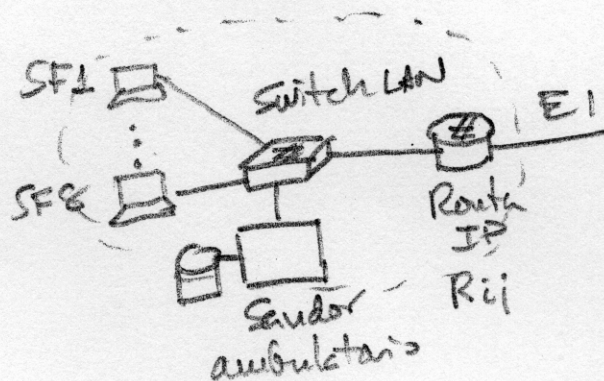
Arquitectura de la red



Detalle de arquitectura en Hospital "i"



Detalle de arquitectura en Ambulatorio "i"



① En R10 hay tráfico LAN entre el servidor y el router IP

⇒ MAC-100
MAC 101

En R22 hay tráfico LAN entre SFs, Router IP y Servidor

⇒ MAC-220
MAC-221
MAC-222
⋮
MAC 229

- ② En R10 la tabla de encadenamiento con coste de n° de saltos sería

Destino	Siguiente
R10	—
R11	R11
R12	R12
R20	R20
R21	R20
R22	R20
R30	R30
R31	R30
R32	R30

De la misma forma, en R22 sería

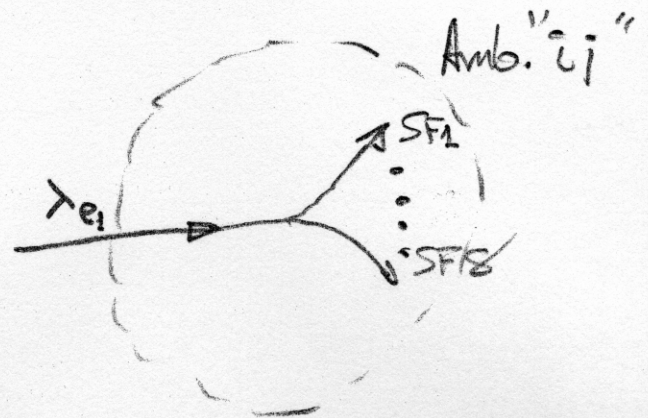
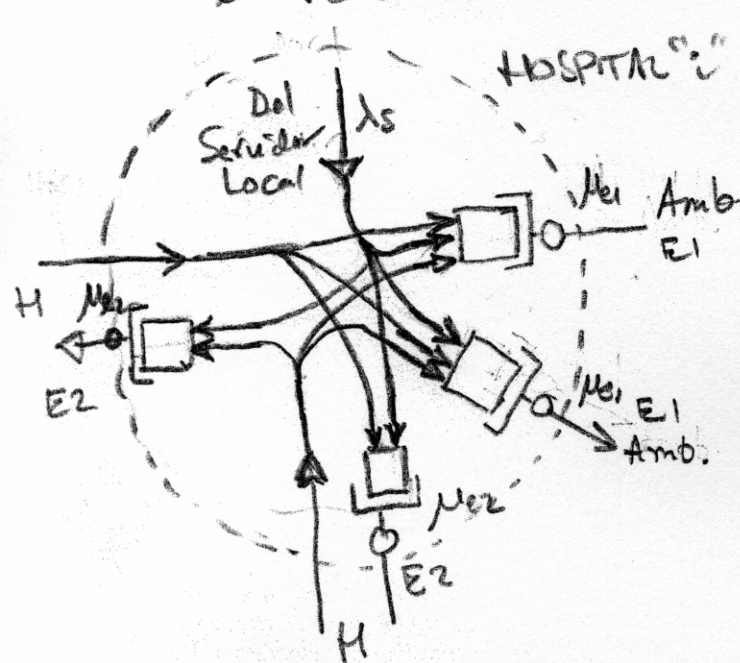
Destino	Siguiente
R10	R20
R11	R20
R12	R20
R20	R20
R21	R20
R22	—
R30	R20
R31	R20
R32	R20

- ③ Los vectores de distancias correspondientes serían:

	R10	R11	R12	R20	R21	R22	R30	R31	R32
En R10	0	1	1	1	2	2	1	2	2
En R22	2	3	3	1	2	0	2	3	3

Solución Ejercicio 2

- ④ Analizando la red con el modelo de Jackson y por la simetría de la misma la red de colas a analizar es



Donde se ha supuesto el tráfico por la LANs despreciable dado su BW comparado con E1 y E2

$$\mu_{e1} = \frac{2 \times 10^6}{1500.8} \text{ pps} = 167 \text{ pps}$$

$$\mu_{e2} = 4 \mu_{e1} \text{ pps} = 667 \text{ pps}$$

Cada SF en un ambulatorio recibe λ_G pps de cada servidor de Hospital $\Rightarrow$ Para todas las colas en los enlaces E1

$$\lambda_{e1} = \underset{\uparrow \text{SF}}{8} \times \underset{\uparrow \text{servidores de hospital}}{3} \times \lambda_G = 192 \text{ pps}$$

$$\rho_{e1} = \frac{\lambda_{e1}}{\mu_{e1}} = \frac{192}{167} > 1 \Rightarrow \text{No se puede aplicar el modelo de Jackson.}$$

- ⑤ Por el mismo motivo no se puede obtener

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS TELEMÁTICOS
ASIGNATURA: REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
EXAMEN EXTRAORDINARIO de JULIO: 8-7-2013.

EJERCICIO 3

DURACIÓN: 45 MINUTOS, PUNTUACIÓN: 10/3 puntos.

Una empresa fabricante de equipos de consumo tiene sedes en tres ciudades de España en las que trabajan un gran número de empleados. Se decide instalar y configurar un servicio de telefonía corporativa basado en IP, de forma que cuando un empleado conversa telefónicamente genera un tráfico de paquetes IP en los que se transmite su voz digitalizada y empaquetada. Únicamente se generan paquetes cuando se habla, durante los silencios no se generan paquetes. Los paquetes IP (PDUs) generados son de longitud constante de 150 octetos y cuando se habla se generan un paquete cada 20ms.

Los equipos de telefonía usan la arquitectura TCP/IP y están conectados a la LAN Ethernet conmutada de la sede. La aplicación de telefonía usa el servicio UDP para transmitir las PDUs de aplicación.

El “overhead” que introduce cada nivel es: Aplicación 10, UDP 8, IP 20 y Ethernet 18 octetos.

Estudios sobre el comportamiento humano revelan que la aparición y duración de los intervalos de voz en una conversación es aleatoria y que de su comportamiento estadístico sólo se sabe que los tiempos de voz y de silencio se reparten al 50%.

Calcular justificadamente:

1. El caudal (bps) medio ocupado en el nivel físico en cada sentido de la comunicación por una conversación en la interfaz Ethernet del equipo de telefonía del usuario.

En cada sede se generan, durante la hora cargada, 90 llamadas/hora destinadas a cada una de las otras dos sedes. El sistema de telefonía IP permite un máximo de 20 conversaciones simultáneas entre cada par de sedes, rechazando la llamada en el caso de superar este límite. Las conversaciones tienen una duración exponencial de 4 minutos de media.

Calcular justificadamente:

2. Probabilidad de que un usuario de una sede no pueda hacer una llamada.
3. Número medio de conversaciones simultáneas entre sedes de la empresa durante la hora cargada.

Para cursar el tráfico de voz entre las sedes se contrata un servicio de red IP con QoS que garantice poco retardo y poco jitter.

El contrato de este servicio especifica los parámetros de un Token Bucket, TB (ρ , C), de forma que cuando no haya “tokens” los paquetes son descartados (almacenarlos en cola supondría un retardo inaceptable). Estos parámetros han sido adecuadamente elegidos para que el descarte de paquetes sea despreciable. El administrador de la red, conociendo el comportamiento aleatorio del tráfico de voz, decide contratar $\rho=1,8$ Mbps y C=5 MB.

Para comprobar el descarte de paquetes en la red suponga la situación en que todos los canales de voz están generando paquetes de voz y en la que inicialmente el TB está lleno de “tokens”

Calcular justificadamente:

4. El tiempo que se tardaría en comenzar a perder paquetes.

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS TELEMÁTICOS
ASIGNATURA: REDES Y SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES
EXAMEN EXTRAORDINARIO de JULIO: 8-7-2013.

SOLUCIÓN EJERCICIO 3

1. El caudal (bps) medio ocupado en el nivel físico en cada sentido de la comunicación por una conversación en la interfaz Ethernet del equipo de telefonía del usuario.

El 50% del tiempo se transmiten 50 pps de una longitud de 150+18 octetos.

El caudal medio es: $0,5 * 168 * 8 * 50 = 33,6 \text{ kbps}$

2. Probabilidad de que un usuario de una sede no pueda hacer una llamada.

Cada par de sedes puede mantener únicamente 20 conversaciones simultáneamente.

Los trabajadores de ambas sedes generan las llamadas con una tasa total de $90+90 = 180$ llamadas/h

Se rechazan las llamadas en caso de que ya haya 20 en curso.

La comunicación entre cada par de sedes se puede modelar como un sistema de pérdidas Erlang-B
con $N=20$, $\lambda=180$ ll/h y $1/\mu = 4$ min. $\rightarrow A=12$ Erlangs

Mirando las curvas se obtiene una $P_B = 1\%$.

3. Número medio conversaciones simultaneas entre sedes de la empresa durante la hora cargada.

Entre cada par de sedes hay una media de $E(n) = A (1-P_B) = 11,88$ conversaciones activas.

En total habrá $3*11,88 = 35,64$.

4. El tiempo que se tardaría en comenzar a perder paquetes para el caso en que todos los canales de voz están generando paquetes de voz y en la que inicialmente el TB está lleno de “tokens”.

En este caso hay 40 conversaciones (20 con cada una de las otras sedes) y cada una genera 50 pps. Este tráfico es el que consume los “tokens”:

$$M=40*50*150*8 = 2.4 \text{ Mbps}$$

$$S=C/(M-\rho) = 5*8/0.6 = 66,7 \text{ seg.}$$