



P1	
P2	
P3	

Examen de la convocatoria de septiembre
Problemas

Apellidos:..... Nombre:.....

Atención: utilizar cuatro decimales para representar los resultados, que se deberán presentar en forma de tablas, como se indica en cada apartado (no se utilizan las tablas del enunciado).

Problema 1 (30 puntos). La salida de un concentrador Ethernet se conecta con una línea digital con una velocidad E1 (2 Mbps), y se asume que dispone de suficiente memoria en su salida para que no se pierdan paquetes. Al concentrador se conectan terminales que producen paquetes con una longitud fija de $L = 512$ Bytes. La tasa de llegadas de paquetes es de 400 paquetes por segundo y la varianza de la variable aleatoria del tiempo que hay entre llegadas consecutivas es 6.25 ms^2 .

- (a) Determinar el sistema de cola (SdC) en la notación de Kendall que se podría utilizar para estudiar el sistema y justificar la repuesta. Calcular el valor medio de la variable temporal de inter-llegada τ_{int} y el coeficiente de la varianza $C(\tau_{int})$.

V_s (Mbps)	λ (p/s)	L (Bytes)	τ_{int} (ms)	$V(\tau_{int})$ (ms^2)	$C(\tau_{int})$
2	400	512		6.25	

- (b) Calcular los valores característicos del SdC (t_s, A, n, u, τ) que se ha establecido en el apartado anterior.

t_s (ms)	A	n	u	τ

- (c) Deducir una fórmula que permita calcular la tasa de llegada a partir del retardo medio τ y la duración del servicio t_s (se recomienda comprobar la validez de la fórmula con los valores de los apartados anteriores).
- (d) Si ahora se asume que se permite un retardo medio $\tau = 4.0 \text{ ms}$, calcular de nuevo los valores característicos del SdC (λ, A, n, u). (Se recomienda comprobar que el τ calculado a partir de ellos coincide con el valor buscado).

λ (p/s)	A	n	u	τ_{prueba} (ms)

Problema 2 (30 puntos). Un operador de una red móvil ofrece un servicio de voz sobre paquetes en la parte donde tiene ya instalada arquitectura de 4G (servicio *VoLTE*), basado en el estándar *VoIP*. Cada usuario tiene asignado una dirección IP (20 Bytes) y el servicio de voz usa, en la capa 4, el protocolo UDP (8 Bytes) y en la capa 5 el protocolo RTP/RTCP (12 Bytes). El servicio *VoLTE* genera los paquetes en la capa 7, con una duración de 20 ms y a una velocidad de 12.2 kbps.

- (a) Calcular la carga útil en la capa 7 y la longitud total de los paquetes en el resto de capas (incluyendo hasta la 3). Exponer los resultados en un tabla como la indicada abajo (tener en cuenta que la longitud es siempre un valor entero).

Capa	Protocolo	Sobrecarga	Longitud total
7	VoLTE	0	
6	-	0	
5	RTP/RTCP	12	
4	UDP	8	
3	IP	20	

- (b) Calcular la velocidad (ancho de banda) requerida en la capa 3 y la velocidad eficaz del servicio (ancho de banda necesario en la capa de aplicación/ancho de banda necesario en la capa 3). Repetir el cálculo para tiempos de encapsulación de 40 ms, 60 ms, y 80 ms; exponer los resultados en forma de tabla, con una estructura similar a la que se indica abajo. Comentar los resultados, argumentando las razones por las que el estándar *VoIP* considera un tiempo de encapsulación de 20 ms y no más alto.

Tiempo encapsulación (ms)	20	40	60	80
L capa 7				
L capa 3				
BW (kbps) capa 3				
Velocidad eficaz servicio				

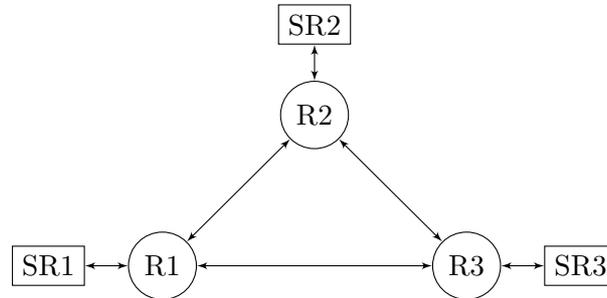
- (c) En la estación base eNB de la red LTE se juntan los paquetes del servicio de *VoLTE* de varios usuarios en un “tunnel” de transporte entre el eNB y un nodo central en la parte dorsal de la red (P-GW) que se compone de los protocolos GTP/UDP/IP (la sobrecarga del protocolo GTP es de 4 Bytes). Se sabe además que este “tunnel” se identifica con una dirección IP diferente e independiente de aquellas que se utilizan en los paquetes individuales de los diferentes usuarios. Se asume que estos nuevos paquetes entre el eNB y el nodo P-GW se transmiten en tramas Ethernet, con una carga útil máxima de 1000 Bytes y una sobrecarga de 38 Bytes por trama. Calcular el número de tramas Ethernet y su longitud que causarían los paquetes de M usuarios con conexión *VoLTE* abierta (para $M = 10, 100, 1000$). Presentar los resultados con un formato de tabla, tal y como se indica seguidamente.

Número de conexiones <i>VoLTE</i>	10	100	1000
Longitud carga útil (Bytes)			
Número de tramas Ethernet			
Longitud de la trama Ethernet			

- (d) Calcular ahora el valor medio del ancho de banda que requiere este “tunnel” y el grado de uso en el nivel 2, teniendo en cuenta que la capacidad del tunnel se usa solamente al 80 %, ya que el valor real del “tunnel” tiene que ser superior al valor medio de tráfico (A_t). Se considera otra vez el tiempo de encapsulación en el nivel de aplicación es de 20 ms. Se sigue el esquema expuesto en la tabla.

Número de usuarios activos M	10	100	1000
Ancho de banda medio “tunnel” (kbps)			
Ancho de banda medio por usuario L2 (kbps)			
Grado de uso L2			

Problema 3 (40 puntos). Una empresa con múltiples delegaciones interconecta las subredes en cada delegación (SR1, 2, 3) con tres routers (R1, R2, R3). Las interconexiones entre éstos se realiza con enlaces tipo “Frame Relay”. Los servidores se conectan con los routers a través de una red de área local en cada delegación. El procesamiento en los routers se realiza a una velocidad de 2400 kbps, y las líneas Frame Relay tienen un ancho de banda de 448 kbps en cada dirección. En el análisis de la configuración no se consideran las subredes, ya que, debido a su alta velocidad (1 Gbps), no contribuyen de manera significativa al retardo total. El diagrama representa la topología de la red.



Tras la puesta en marcha de la red, los ingenieros estiman el volumen de tráfico entre cada pareja de subredes a partir de las tasas correspondientes (en paquetes por segundo). Los datos que resultan de la campaña de medidas son los que se indican en la siguiente tabla.

	1	2	3
1	-	20	70
2	30	-	40
3	70	90	-

El tiempo de llegada entre dos paquetes consecutivos se distribuye con una fdp exponencial negativa, siendo la longitud media de los paquetes de 512 Bytes, con una fdp geométrica.

- Dibujar el grafo de la red de Sistemas de Cola (SdC) correspondiente a la topología. Indicar el tipo de la red y los dos teoremas más importantes para acometer el análisis de su rendimiento, discutiendo su importancia en el ámbito del estudio de las redes de conmutación de paquetes. Calcular la suma total de flujo de entrada y salida en las tres subredes, comparando los valores y comentando el resultado.
- Calcular el flujo (paquetes por segundo) en cada nodo de la red de SdC. Hay que tener en cuenta que el gestor de la red programa los routers de forma que el flujo entre las subredes i y j se reparte (de manera equitativa) por las dos rutas disponibles, con el objetivo de incrementar la fiabilidad. Indicar en una tabla el flujo de entrada y salida de los routers, discutiendo los resultados obtenidos. Calcular además, en cada enlace de la red original (i, j) la suma de los flujos (i, j) y (j, i) , interpretando el resultado obtenido.
- A partir de los flujos por nodo calculados en el apartado anterior y de las velocidades correspondientes, rellenar la tabla que se indica seguidamente. Calcular la ocupación $E(n)$ y el retardo medio por paquete (τ) para todos los nodos.

Tipo nodo	λ (pkt/s)	Velocidad (kBytes/s)	t_s (ms)	A (Erlang)	$E(n)$ (paquetes)	τ (ms)
Fuente 0						
Global	-	-	-	-		

- Calcular el retardo medio entre las subredes i, j con $i \neq j$, presentando el resultado en una matriz como la que se indica a continuación. Obtener el valor medio sobre la red, tanto a partir de los retardos individuales como aplicando la fórmula de *Little* de manera global sobre toda la red, comentando el resultado obtenido.

	1	2	3
1			
2			
3			

- (e) Calcular, a partir de los resultados del apartado c), la matriz de transición de la red SdC. Calcular la suma de los valores de cada fila, comentando el resultado obtenido. Utilizar cuatro decimales para la representación de las probabilidades.
- (f) Calcular el valor máximo de paquetes total λ_0 que puede admitirse para que la ocupación máxima de cualquier nodo de la red de SdC no supere 0.8, sin modificar las velocidades de los routers y líneas FR.