



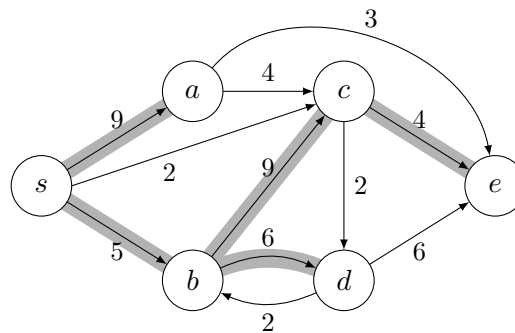
E.T.S.I.I.T - Grado en Ingeniería de
Tecnologías de Telecomunicación
Redes de Comunicaciones - Curso 2022/2023
Examen de la convocatoria extraordinaria

P1	
P2	
P3	

Problemas

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

Problema 1 (1 punto). Considérese el grafo de la figura, \mathcal{G} , en el que se indican las rutas a utilizar desde el nodo s , establecidas con un algoritmo de encaminamiento, según una política determinada. La información que se indica para cada uno de los enlaces se corresponde con su capacidad.



- (a) **[0.5 puntos]** El nodo s envía 100 paquetes por segundo al nodo d . ¿Cuántos paquetes por segundo utilizarían la ruta establecida por el algoritmo utilizado, si se decidiera emplear un esquema de encaminamiento probabilístico, según el que un nodo elige el enlace, a la hora de reenviar cada paquete, con una cierta probabilidad, proporcional a su capacidad.
- (b) **[0.5 puntos]** Representar la red residual resultante, si el nodo s envía 2 unidades de flujo al nodo d y 3 al nodo e .

Problema 2 (3 puntos). Se dispone de un sistema de computación, con dos procesadores, y capacidad para mantener un análisis en espera. Las peticiones llegan al sistema según un proceso de Poisson, con una tasa $\lambda = 5 \text{ min}^{-1}$. Se supone que el tiempo de procesado (análisis) se puede modelar con una variable aleatoria exponencial negativa, de valor medio 12 s.

- (a) **[0.3 puntos]** Modelar el sistema con una cadena de Markov, y establecer las probabilidades de pérdida y de espera.
- (b) **[0.4 puntos]** El sistema de monitorización establece que el tiempo medio de permanencia en el sistema es 13.2 s. ¿Cuál es el porcentaje de peticiones aceptadas que tienen que esperar? Establecer este resultado de dos maneras diferentes.
- (c) **[0.4 puntos]** Si se observara el sistema durante 1 hora, ¿cuánto tiempo estaría activo el buffer de espera? ¿Y cada uno de los dos procesadores, sabiendo que se utiliza una estrategia de ocupación aleatoria?

Para mejorar las prestaciones del sistema se plantea una modificación en su operación. Al activarse el buffer de espera (esto es, cuando una petición tiene que esperar) se pone en marcha un temporizador (variable aleatoria exponencial negativa). En caso de expirar antes de que la petición abandone el buffer de espera, se duplicaría la capacidad de uno de los dos procesadores, de manera que el tiempo de servicio pasaría a ser la mitad (únicamente en dicho procesador). Si el buffer de espera se vaciara antes de que el temporizador expirara, éste se cancelaría, y el procesador no aumentaría su velocidad.

En una primera alternativa, el procesador, tras haber incrementado su capacidad, y una vez que se vacía el buffer de espera, vuelve a su configuración original. En este supuesto se sabe que, al utilizar una duración media para el temporizador de $\gamma^{-1} = 10 \text{ s}$, el segundo procesador trabaja al doble de su capacidad inicial 1.3793 minutos (en promedio) en una hora.

- (d) **[0.4 puntos]** Modelar esta alternativa con una cadena de Markov, y calcular las probabilidades de espera y pérdida.
- (e) **[0.5 puntos]** ¿Cuál debería ser la duración media del temporizador para que la probabilidad de pérdida fuera el 7%?

En una segunda configuración, el procesador mantiene el doble de la capacidad original hasta que el análisis que esté procesando finalice. En este caso, el sistema de monitorización, para $\gamma^{-1} = 10 \text{ s}$, proporciona los siguientes datos (minutos en una hora de observación): (1) sistema en reposo: 22.2707 min; (2) procesador trabajando al doble de capacidad: 1.9651 min; (3) buffer de espera en uso: 4.7162 min.

- (f) **[0.6 puntos]** Modelar esta configuración con una cadena de Markov, y calcular nuevamente las probabilidades de pérdida y espera.
En este caso se tienen que distinguir los estados en los que dicho procesador está trabajando a una capacidad mayor.
- (g) **[0.4 puntos]** ¿Cuál es el tiempo medio de espera en esta configuración?

Problema 3 (3 puntos). Un operador de comunicaciones móviles despliega antenas sectoriales de 120° con una cobertura $R = 800 \text{ m}$, ver Figura (b), para dar servicio en la zona que se muestra en la Figura (a). Se decide utilizar un factor de reuso $N = 4$, y se estima que el exponente de pérdidas de propagación en la zona es $\gamma = 2.3$.

De cara a dimensionar la red, se cuenta con los siguientes datos de mercado:

- Densidad de usuarios: $\alpha = 18 \text{ u/km}^2$.
- Tráfico por usuario: $\rho = 80 \text{ mErlangs}$.

- (a) **[0.4 puntos]** Asumiendo que las posibles antenas interferentes se encuentran a la distancia de reuso del punto de cálculo, ¿cuál sería la CIR del sistema?
- (b) **[0.4 puntos]** ¿Cuál es la CIR co-canal exacta?
- (c) **[0.4 puntos]** ¿Cuántos canales necesitaría adquirir el operador, si pretende que la probabilidad de bloqueo sea inferior al 4%?

El sistema de gestión de red observa que la probabilidad de bloqueo en varios sectores, destacados en la Figura (c), es sensiblemente mayor a la inicialmente prevista, ya que la densidad de usuarios en el área cubierta por ellos es muy elevada, $\alpha^\dagger = 45 \text{ km}^{-2}$.

- (d) **[0.4 puntos]** ¿Cuál sería la probabilidad de bloqueo promedio de la red si el operador no aumentara los canales?
- (e) **[0.4 puntos]** ¿Cuántos canales adicionales debería adquirir el operador, manteniendo un despliegue celular tradicional, para mantener la probabilidad de bloqueo del 4% en toda la red? ¿Cuál sería la probabilidad de bloqueo promedio en este caso?

Se plantea un diseño alternativo, en el que el operador despliega una BS paraguas, con una antena sectorial de 60° , situada en el mástil de la celda 9, según se muestra en la Figura (c). Así, las llamadas que no puedan atenderse por el despliegue de red original (únicamente en los sectores en los que la densidad es mayor), desbordarían a la BS paraguas.

- (f) **[0.2 puntos]** ¿Cuál debería ser la cobertura de esta BS, para cubrir toda la zona con mayor densidad? ¿Qué interferencia adicional podría causar sobre el despliegue original, utilizando el resultado del apartado (a), si la CIR máxima admisible es de 11 dB?
- (g) **[0.4 puntos]** ¿Cuántos canales serán necesarios en la BS paraguas para conseguir que la probabilidad de bloqueo sea del 4%? ¿Cuál sería la probabilidad de bloqueo promedio en este caso?
- (h) **[0.4 puntos]** ¿Cuál sería la ocupación promedio (en minutos por hora) de los recursos de la red? Asumir una estrategia aleatoria.

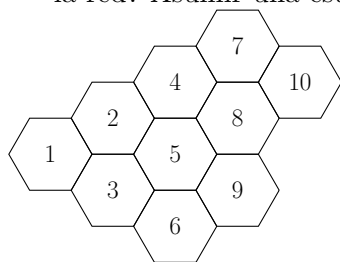


Figura (a)

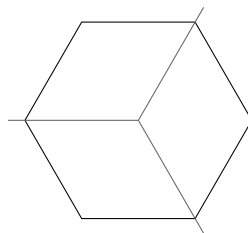


Figura (b)

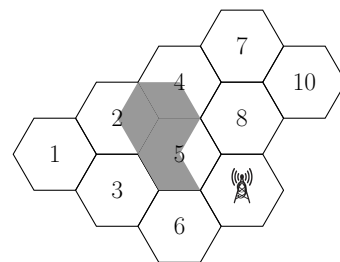
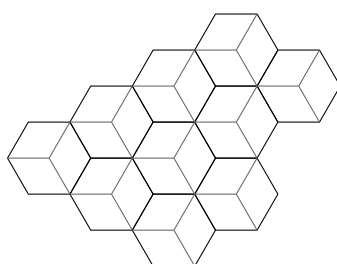
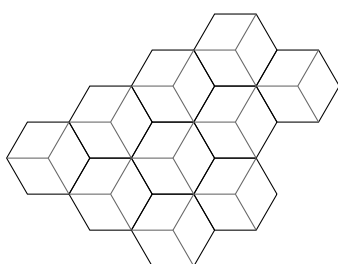
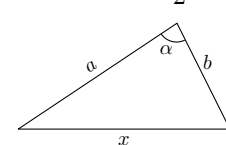


Figura (c)



$$A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2$$



$$x^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$$

Teorema coseno

Fórmula de Erlang-B: A de 0.1 a 5.0 *Erlangs*. S de 1 a 10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	090909	004525	000151	000004						
0.2	166667	016393	001092	000055	000002					
0.3	230769	033457	003335	000250	000015	000001				
0.4	285714	054054	007156	000715	000057	000004				
0.5	333333	076923	012658	001580	000158	000013	000001			
0.6	375000	101124	019824	002965	000356	000036	000003			
0.7	411765	125964	028552	004972	000696	000081	000008	000001		
0.8	444444	150943	038694	007679	001227	000164	000019	000002		
0.9	473684	175705	050072	011141	002001	000300	000039	000004		
1.0	500000	200000	062500	015385	003067	000511	000073	000009	000001	
1.1	523810	223660	075793	020417	004472	000819	000129	000018	000002	
1.2	545455	246575	089776	026226	006255	001249	000214	000032	000004	000001
1.3	565217	268680	104286	032782	008451	001828	000339	000055	000008	000001
1.4	583333	289941	119180	040043	011088	002580	000516	000090	000014	000002
1.5	600000	310345	134328	047957	014183	003533	000757	000142	000024	000004
1.6	615385	329897	149620	056469	017749	004711	001076	000215	000038	000006
1.7	629630	348613	164960	065515	021790	006136	001488	000316	000060	000010
1.8	642857	366516	180267	075033	026302	007829	002009	000452	000090	000016
1.9	655172	383634	195474	084962	031276	009807	002655	000630	000133	000025
2.0	666667	400000	210526	095238	036697	012085	003441	000859	000191	000038
2.1	677419	415646	225378	105804	042547	014673	004383	001149	000268	000056
2.2	687500	430605	239993	116605	048802	017580	005495	001509	000369	000081
2.3	696970	444912	254343	127588	055437	020809	006791	001949	000498	000114
2.4	705882	458599	268406	138706	062423	024361	008283	002479	000661	000159
2.5	714286	471698	282167	149916	069731	028234	009983	003110	000863	000216
2.6	722222	484241	295614	161179	077331	032424	011900	003853	001112	000289
2.7	729730	496256	308738	172458	085194	036922	014041	004717	001413	000381
2.8	736842	507772	321537	183724	093288	041718	016413	005712	001774	000496
2.9	743590	518816	334009	194948	101584	046801	019020	006848	002202	000638
3.0	750000	529412	346154	206107	110054	052157	021864	008132	002703	000810
3.1	756098	539585	357975	217178	118671	057771	024946	009574	003287	001018
3.2	761905	549356	369475	228145	127409	063628	028265	011180	003959	001265
3.3	767442	558748	380660	238991	136244	069710	031818	012955	004728	001558
3.4	772727	567780	391536	249703	145152	076001	035601	014905	005599	001900
3.5	777778	576471	402110	260271	154112	082484	039608	017033	006581	002298
3.6	782609	584838	412389	270685	163105	089140	043834	019344	007678	002756
3.7	787234	592897	422379	280938	172113	095952	048270	021837	008898	003281
3.8	791667	600666	432090	291024	181119	102905	052907	024515	010245	003878
3.9	795918	608157	441529	300939	190108	109980	057737	027376	011724	004552
4.0	800000	615385	450704	310680	199067	117162	062749	030420	013340	005308
4.1	803922	622362	459623	320243	207983	124437	067933	033644	015095	006151
4.2	807692	629101	468295	329628	216846	131788	073278	037046	016994	007087
4.3	811321	635614	476726	338835	225645	139202	078774	040621	019038	008120
4.4	814815	641910	484926	347862	234373	146666	084408	044365	021229	009254
4.5	818182	648000	492901	356712	243021	154166	090170	048272	023567	010494
4.6	821429	653894	500658	365384	251583	161693	096050	052338	026054	011843
4.7	824561	659600	508206	373882	260053	169234	102035	056555	028687	013304
4.8	827586	665127	515552	382206	268427	176780	108115	060917	031467	014879
4.9	830508	670483	522701	390359	276700	184320	114279	065417	034391	016572
5.0	833333	675676	529661	398343	284868	191847	120519	070048	037458	018385