



Universidad de Granada

Dpto. Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones  
E.T.S. Ingeniería Informática y de Telecomunicación  
C/ Perifoneo Daniel Saucedo Aranda, S/N  
18071- Granada  
Tf: +34-958-240840 - Fax: +34-958-240831



## INFRAESTRUCTURAS Y REDES DE COMUNICACIÓN

### Junio de 2015 - Examen

Nombre ..... Resolución Oficial Junio 2015 ..... DNI.....

#### Parte 1: Cuestionario (1 punto)

Responda a las preguntas marcando claramente la respuesta que considere más acertada con una X.  
Las respuestas correctas suman 0.125 puntos y las incorrectas restan 0.125/2 puntos. (A)

- En el despliegue de bucle de abonado inalámbrico para comunicaciones móviles, el tamaño de la celda:
  - ☐ a. Viene limitada siempre por el balance de potencia del enlace bidireccional.
  - ☐ b. Viene limitada siempre por el tráfico de la celda (usuarios simultáneos).
  - ☐ c. Depende de ambos factores y puede limitar tanto uno como el otro.
- Las redes FTTH:
  - ☐ a. Implican despliegue de cable coaxial desde el TRO.
  - ☐ b. Actualmente emplean tercera ventana de transmisión.
  - ☐ c. requieren que el TRO multiplexe las señales de varios usuarios en una única fibra.
- Un subcanal de ADSL que emplea una modulación 4-QAM ofrece una capacidad máxima de:
  - ☐ a. 32 Kbps
  - ☐ b. 16 Kbps.
  - ☐ c. 8 Kbps.
- Si en una celda de telefonía 2G/3G se incrementa la tasa de tráfico  $A_{celda}$ :
  - ☐ a. Para una misma probabilidad de bloqueo, el número de canales simultáneos disponibles deben aumentar.
  - ☐ b. Para un mismo número de canales simultáneos disponibles, la probabilidad de bloqueo decrece.
  - ☐ c. Tanto la probabilidad de bloqueo como el número de canales simultáneos disponibles crecen.
- La red 4G:
  - ☐ a. Emplea desde su despliegue las frecuencias del Dividendo Digital.
  - ☐ b. Mantiene los anchos de banda de 5MHz propios de 3G, aunque mejora las modulaciones digitales empleadas y añade técnicas MIMO.
  - ☐ c. Ambas respuestas son incorrectas.
- En viviendas que deban tener proyecto de ICT, el Proyecto de Obra:
  - ☐ a. Es opcional en algunos casos, pudiendo ser reemplazado por el Director d Obra.
  - ☐ b. Es obligatorio siempre.
  - ☐ c. Es obligatorio sólo cuando exista certificación final de obra.
- ¿Cuántos cables de red coaxial llegan al PAU desde el RITI?:
  - ☐ a. 1.
  - ☐ b. 2.
  - ☐ c. 4.
- ¿Qué capacidad neta posee un VC-4?:
  - ☐ a. 149,76 Kbps.
  - ☐ b. 149,76 Mbps.
  - ☐ c. 149,76 Gbps.

Duración examen:

Test: 15 min

Preg cortas: 30 min

P1: 45 min

P2: 40 min

Total: 2 horas 10 min

#### Parte 2: Preguntas cortas (1.2 puntos)

- ¿Para qué sirve el modelo de Erlang C? Explique en qué consiste y qué parámetros relaciona. Ponga un ejemplo. (0.6 puntos)

Libro "Redes e Infraestructuras de telecom."  
(Edición 2013)  
pág. 32

- En WCDMA, ¿a qué se refiere la W? ¿En qué consiste? (0.6 puntos)

Libro "Redes e Infraestructuras de Telecom."  
(Edición 2013)  
pág 92-93

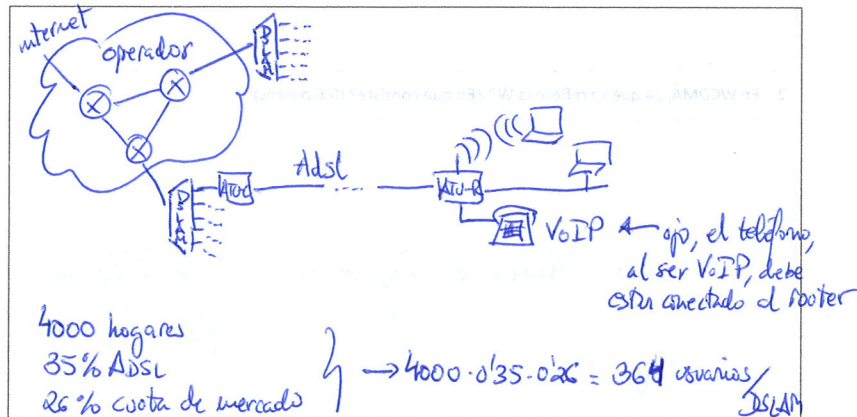
### Parte 3: Ejercicios (3.8 puntos)

3. Un operador de telecomunicaciones decide reestructurar su servicio convencional de **ADSL sin cancelación de eco** (Contrato A) donde sólo se ofrecen llamadas y datos (0.5Mbps en subida y 4.5Mbps en bajada, brutos) añadiendo la opción de contratar un sistema basado en **ADSL2+ con cancelación de eco** (Contrato B), ofreciendo llamadas **VoIP, datos y televisión** (0.5Mbps en subida y 25Mbps en bajada, brutos, de los cuales el 50% son para datos y el resto para TV). Para ello sitúa un DSLAM distribuidos cada 4000 hogares, sabiendo que de ellos sólo el 35% tienen contratado ADSL y que se tiene una cuota de mercado del 26% sobre dicho total de hogares. De todos sus clientes, se estima que tan sólo el 40% contrata la segunda modalidad (Contrato B) y el resto la primera modalidad (Contrato A). El coste del contrato A es de 25€/mes y del contrato B de 45€/mes.

- a) En cuanto a desagregación, explique qué tipo de configuración de bucle de abonado se establece en este nuevo despliegue. ¿Qué ocurre con las frecuencias bajas (0 a 25.875KHz)? (0.25 puntos)

El esquema propuesto se puede considerar a desagregación parcial sin servicio telefónico básico en bajas frecuencias, ya que se presta mediante VoIP, es decir, como si fueran datos, en las bandas altas. Las frecuencias bajas (que coinciden con los 6 primeros subcanales de 4.3125 KHz) quedan sin usarse (y vinculadas aún al operador dominante).

- b) Dibuje el esquema de red de la red de acceso del operador y detalle cómo es la red del hogar del usuario y cómo se conectan los equipos. Explique el esquema. ¿Cuántas conexiones se multiplexan en cada DSLAM? (0.4 puntos)



- c) Considere inicialmente la primera solución (Contrato A). Estime qué velocidad promedio (es decir, si todos los subcanales fueran iguales) se requeriría en cada subcanal para lograr la tasa ascendente y descendente ofertada. ¿Qué eficiencia espectral promedio supone eso? ¿Qué modulaciones digitales se emplearían? (0.3 puntos)

Ascendente: 0.5 Mbps brutos  $\rightarrow$  26 subcanales UL  $R_{\text{subcanal}} \approx 19.23 \text{ Kbps} = \text{BW} \cdot \gamma_{\text{UL}}$   
 $\gamma_{\text{UL}} \approx 5 \rightarrow 2^5\text{-QAM}$   
 Descendente: 4.5 Mbps brutos  $\rightarrow$  sin cancelación de eco  $\rightarrow$  26 subc.  $R_{\text{subcanal}} \approx 20 \text{ Kbps} = \text{BW} \cdot \gamma_{\text{DL}}$   
 $\gamma_{\text{DL}} \approx 5 \rightarrow 2^5\text{-QAM}$

(en rigor tomaríamos  $2^6\text{-QAM}$  pues  $\gamma_{\text{UL}} = 5.02$ )

- d) Considerando que inicialmente todos los clientes sólo tienen contratada la modalidad **ADSL convencional** (Contrato A), ¿Qué velocidad debería tener el enlace troncal hacia la red de cada DSLAM para dar servicio a todos los usuarios? ¿Qué nivel STM-N escogería para dicho troncal? (0.25 puntos)

$$\text{DL: } 364 \text{ usuarios} \cdot 4.5 \text{ Mbps} = 1.638 \text{ Gbps} \leftarrow \text{límite}$$

$$\text{UL: } 364 \text{ usuarios} \cdot 0.5 \text{ Mbps} = 0.182 \text{ Gbps}$$

$$R_{\text{enlace}} \geq 1.638 \text{ Gbps}$$

$$R_{\text{STM-N-datos}} = \frac{260 \times 8 \times 9}{125 \mu\text{s}} \cdot N \geq 1.638 \text{ Gbps} \Rightarrow N = 10.94 \rightarrow N = 16$$

- e) Considerando ahora que se dispone de ambas soluciones, en la cuota establecida: **ADSL convencional y ADSL 2+** (Contratos A y B), ¿Qué velocidad debería tener el enlace troncal hacia la red de cada DSLAM para dar servicio a todos los usuarios? (0.25 puntos)

como en el caso anterior, limitará el DL, será el que analicemos:

$$364 (0.40 \cdot 25 \text{ Mbps} + 0.6 \cdot 4.5 \text{ Mbps}) = 4.6355 \text{ Gbps}$$

$$R_{\text{STM-N-datos}} = \frac{260 \times 8 \times 9}{125 \mu\text{s}} \cdot N \geq 4.6355 \text{ Gbps} \Rightarrow N = 30.95 \rightarrow N = 64$$

- f) En el caso de **ADSL 2+**, ¿Qué velocidad promedio requerirá un subcanal descendente y ascendente? ¿Qué modulaciones se requerirían? (0.2 puntos)

Adsl 2+ con cancelación de eco:

$$N^{\circ} \text{ de canales: } 250 + 256 \text{ (se acepta simplificación de } 250 \times 2)$$

$$R_{\text{subcanal}} = \frac{25 \text{ Mbps}}{506} = 49.407 \text{ Kbps} \rightarrow \gamma = \frac{R_{\text{subc}}}{\text{BW}} = 12.35$$

$\rightarrow 2^{13}\text{-QAM}$

(otro tema es si este es un valor razonable de M-QAM...)



- g) Considerando el precio y prestaciones de ambas soluciones, ¿cuál proporciona un precio por hertzio más competitivo para descarga de datos (€/Hz)? (0.35 puntos)

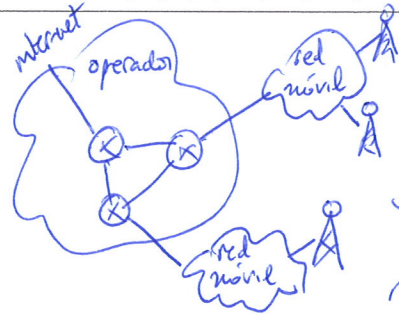
$$\text{Contrato A} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} BW_{\text{Tot}} = 4000 \times 224 \\ \text{precio} = 25 \text{ €/mes} \end{array} \right\} \rightarrow 2.79 \cdot 10^{-5} \text{ €/Hz-mes}$$

$$\text{Contrato B} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} BW_{\text{Tot}} = 4000 \cdot 506 \\ \text{precio} = 45 \text{ €/mes} \end{array} \right\} \rightarrow 2.22 \cdot 10^{-5} \text{ €/Hz-mes}$$

más competitivo el contrato B (estimado en €/Hz-mes)  
(en esta solución se incluye la TV como datos en descarga. Si se considerasen estrictamente los datos de descarga (50%) la solución de B se result. por B2, dejando de ser la más competitiva)

4. Años después el mismo operador explora la posibilidad de prestar el servicio a través de red móvil 3G/4G mediante router doméstico con tarjeta SIM. En este caso se plantea sólo la opción de mayor velocidad (Contrato C: VoIP, datos y televisión (0.5Mbps en subida y 25Mbps en bajada, brutos, de los cuales el 50% son para datos y el resto para TV). El operador se plantea la migración de todos sus clientes a este contrato C.

- a) Proponga un cambio en la topología de red de modo que se pueda prestar el servicio mediante red móvil. Dibújela y explíquela. (0.45 puntos)



Los segmentos de red móvil se podrían eliminar en el mismo punto que el DSLAM, reemplazándolo.  
Notese que aunque de aprobe red móvil, los usuarios son residenciales "fijos"

- b) Considerando que el tráfico de llamadas promedio estimado por celda es de 175 llamadas/hora en hora pico y 10 llamadas/hora en hora valle, que el tiempo de llamada promedio es de 63 segundos y que sólo el 0.1% del tráfico se debe ver comprometido por congestión, calcule el número de conexiones simultáneas de voz que debería ser capaz de gestionar cada celda. (0.2 puntos) [En anexo tiene tablas que podría necesitar]

$$A = \frac{175 \text{ llamadas/hora} \cdot 63 \text{ segundos}}{3600 \text{ segundos}} = 3.06 \text{ E} \rightarrow N = 10 \text{ usuarios simultáneos}$$

(se toma la hora pico, que es la que limita)

- c) Si sólo el 9.3% de los usuarios potenciales del operador realizan llamadas simultáneamente, ¿cuántos usuarios tiene el operador por celda? (0.3 puntos)

$$\text{Usuarios/celda} = \frac{10}{0.093} \approx 108 \text{ usuarios totales por celda.}$$

- d) Considerando que los antiguos troncales que conectaban a los DSLAM son los mismos que ahora conectarán la red nueva de acceso móvil del operador, calcule el número de celdas que se podrían agrupar conjuntamente para encaminar su tráfico hacia la red del operador. Considere que dichos troncales son STM-64. (0.25 puntos)

$$\text{STM-64} \rightarrow R_{\text{datos-STM-64}} = \frac{260 \times 8 \times 9}{125 \cdot 10^6} \cdot 64 = 9.58464 \text{ Gbps}$$

$$1 \text{ celda} \rightarrow 108 \text{ usuarios}$$

$$R_{\text{truncal}} \geq N_{\text{celdas}} \cdot N_{\text{usuarios}} \cdot R_{\text{usuario}} \rightarrow N_{\text{celdas}} \leq 3.54$$

$$\frac{9.58464 \text{ Gbps}}{108 \cdot 25 \text{ Mbps}} \rightarrow N_{\text{celdas}} = 3$$

- e) ¿Qué capacidad bruta proporciona el STM-64? ¿Y neta? ¿Qué capacidad bruta tendría un VC-4 en ella integrado? ¿Y neta? (0.35 puntos)

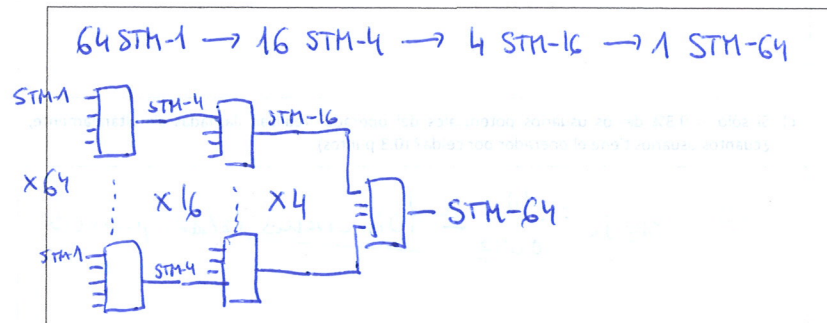
$$R_{\text{netz-STM-64}} = \frac{261 \times 8 \times 9}{125 \cdot 10^6} \times 64 = 9.621504 \text{ Gbps}$$

$$R_{\text{bruta-STM-64}} = \frac{270 \times 8 \times 9}{125 \cdot 10^6} \times 64 = 9.95328 \text{ Gbps}$$

$$R_{\text{VC-4 bruta}} = R_{\text{netz-STM-64}} = \frac{261 \times 8 \times 9}{125 \cdot 10^6} = 150.336 \text{ Mbps}$$

$$R_{\text{VC-4 neta}} = \frac{260 \times 8 \times 9}{125 \cdot 10^6} = 149.76 \text{ Mbps}$$

f) Explique cómo se realiza la inserción de STM-1 en STM-64. ¿Cómo se extraería la información de los afluentes? (0.25 puntos)



Erlang C Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N

N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0100	.0200	.0500	.1000	.1500	.2000	.3000	.4000
2	.0142	.0319	.0452	.1025	.1465	.2103	.3422	.5000	.6278	.7403	.9390	1.117
3	.0860	.1490	.1894	.3339	.4291	.5545	.7876	1.040	1.231	1.393	1.667	1.903
4	.2310	.3533	.4257	.6641	.8100	.9939	1.319	1.653	1.899	2.102	2.440	2.725
5	.4428	.6289	.7342	1.065	1.259	1.497	1.905	2.313	2.607	2.847	3.241	3.569
6	.7110	.9616	1.099	1.519	1.758	2.047	2.532	3.007	3.344	3.617	4.062	4.428
7	1.026	1.341	1.510	2.014	2.297	2.633	3.188	3.725	4.103	4.406	4.897	5.298
8	1.382	1.758	1.958	2.543	2.866	3.246	3.869	4.463	4.878	5.210	5.744	6.178
9	1.771	2.208	2.436	3.100	3.460	3.883	4.569	5.218	5.668	6.027	6.600	7.065
10	2.189	2.685	2.942	3.679	4.077	4.540	5.285	5.986	6.469	6.853	7.465	7.959
11	2.634	3.186	3.470	4.279	4.712	5.213	6.015	6.765	7.280	7.688	8.336	8.857
12	3.100	3.708	4.018	4.896	5.363	5.901	6.758	7.554	8.099	8.530	9.212	9.761
13	3.587	4.248	4.584	5.529	6.028	6.602	7.511	8.352	8.926	9.379	10.09	10.67
14	4.092	4.805	5.166	6.175	6.705	7.313	8.273	9.158	9.760	10.23	10.98	11.58
15	4.614	5.377	5.762	6.833	7.394	8.035	9.044	9.970	10.60	11.09	11.87	12.49
16	5.150	5.962	6.371	7.502	8.093	8.766	9.822	10.79	11.44	11.96	12.77	13.41
17	5.699	6.560	6.991	8.182	8.801	9.505	10.61	11.61	12.29	12.83	13.66	14.33
18	6.261	7.169	7.622	8.871	9.518	10.25	11.40	12.44	13.15	13.70	14.56	15.25
19	6.835	7.788	8.263	9.568	10.24	11.01	12.20	13.28	14.01	14.58	15.47	16.18
20	7.419	8.417	8.914	10.27	10.97	11.77	13.00	14.12	14.87	15.45	16.37	17.10

Erlang B Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N

N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.750	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691	10.86	13.33	16.31
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78	12.04	14.72	17.95
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87	13.22	16.11	19.60
14	4.239	5.032	5.446	6.663	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97	14.41	17.50	21.24
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07	15.61	18.90	22.89
16	5.339	6.250	6.722	8.100	8.875	9.828	11.54	13.50	15.18	16.81	20.30	24.44
17	5.911	6.878	7.378	8.834	9.652	10.66	12.46	14.52	16.29	18.01	21.70	26.19
18	6.496	7.519	8.046	9.578	10.44	11.49	13.39	15.55	17.41	19.22	23.10	27.84
19	7.093	8.170	8.724	10.33	11.23	12.33	14.32	16.58	18.53	20.42	24.51	29.50
20	7.701	8.831	9.412	11.09	12.03	13.18	15.25	17.61	19.65	21.64	25.92	31.15