Tema 3: Sistemas de comunicaciones móviles

Ejercicios y problemas – Resoluciones

1.

2.

3.

4.

5.

6.

7. a) La tecnología europea de TMA de segunda generación es GSM, que utiliza celdas hexagonales sectorizadas. La densidad superficial de terminales es el número de terminales por unidad de superficie:
$\rho_m = \frac{A/a}{Sc}$, donde:
   - $a = 20$ mE
   - $S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2 = 2.598$ Km^2
   - $A = B^{-1}(N-1, p) = B^{-1}(23, 2\,\%) = 15.8$ E
     - $N = \frac{C}{J} \cdot 8 = \frac{39}{13} \cdot 8 = 24$

   Luego:
   $\rho_m = \frac{A/a}{Sc} = \frac{15.8/20 \cdot 10^{-3}}{2.598} = \boxed{304.08 \text{ terminales/Km}^2}$.

   b) El número total de conversaciones simultáneas (n_{cs}) es:
   $n_{cs} = Q \cdot J \cdot (N-1) = 2961 \cdot 13 \cdot 23 = \boxed{885339 \text{ conversaciones simultáneas}}$
   - $Q = \left\lfloor \frac{S}{S_r} \right\rfloor + 1 = \left\lfloor \frac{S}{J \cdot S_c} \right\rfloor + 1 = \left\lfloor \frac{100000}{13 \cdot 2.598} \right\rfloor + 1 = 2961$

   c) La distancia de reutilización viene determinada por la geometría celular, es decir, por R y J:
   $J = \frac{1}{3}\left(\frac{D}{R}\right)^2 \rightarrow D = R\sqrt{3J} = \sqrt{3 \cdot 13} = \boxed{6.245 \text{ Km}}$

   d) Teniendo en cuenta que las celdas son sectorizadas, hay dos fuentes de interferencia cocanal para una estación base dada. Para que la distancia de reutilización D sea suficiente para lograr una cierta relación de protección debe cumplirse que el tamaño del cluster sea:
   $J \geq \frac{1}{3}\left[1 + (2r_p)^{1/n}\right]^2 = \frac{1}{3}\left[1 + (2 \cdot 316.227766)^{1/3.5}\right]^2 = 17.83$
   - $r_p = 10^{Rp/10} = 10^{25/10} = 316.227766$

Como no se cumple la inecuación ($J = 13$), el sistema no es viable. Para que lo sea, la distancia de reutilización deberá ser mayor, luego deberemos especificar un cluster más grande. El número rómbico inmediatamente superior a 17.83 es 19. Luego, el tamaño mínimo del cluster para conseguir la relación de protección requerida es 19.

8. a) La intensidad de campo mínimo para receptores de sensibilidad S es:
   $E_m(\text{dB}\mu) = S(\text{dB}\mu) + 20\log(f(\text{MHz})) + 10\log\left(\frac{R_d}{R_0}\right) - G_d^* - 33.6$
   - $G_d^* = G_d - \alpha l - L = G - 2.15 - \alpha l - L = 7.5 - 2.15 = 5.35$ dB (no hay datos sobre el alimentador ni sobre pérdidas adicionales, así que se consideran irrelevantes)
   - $S(\text{dB}\mu) = V(\text{dB}\mu) = W(\text{dB}) + 10\log(V_b(\text{bps})) + F_r - 67$
     W se obtiene de la gráfica:
     - Curva: $f_D = 40$ Hz
     - Ordenadas: $BER = 10^{-3}$
     - Abscisas: $W = 40$ dB

     Con lo que: $S = 40 + 10\log(10^4) + 6 - 67 = 19$ dBμ

   Con todo ello, el campo mínimo:
   $E_m = 19 + 20\log(500) + 10\log\left(\frac{100}{50}\right) - 5.35 - 33.6 = \boxed{37.04 \text{ dB}\mu}$

   b) El campo mediano:
   $\overline{E}_n = E_m + \Delta_e E$ donde:
   $\Delta_e E = \{[k(L)\cdot\sigma_L]^2 + [k(T)\cdot\sigma_T]^2\}^{1/2}$
   - $k(L) = k(95\,\%) = 1.64$ (tabla distribución normal)
   - $k(T) = k(90\,\%) = 1.28$ (tabla distribución normal)

   $\Delta_e E = \{[1.64\cdot 8.0]^2 + [1.28\cdot 2.0]^2\}^{1/2} = 13.37$ dB
   Con ello, el campo mediano queda:
   $\overline{E}_n = 37.04 + 13.37 = \boxed{50.41 \text{ dB}\mu}$

   c) Para calcular el radio máximo de la celda se utiliza el método empírico de Okumura-Hata. Corregimos primero el campo mediano para la potencia radiada por la antena:
   $\overline{E}_n(\text{dB}\mu) = E_c(\text{dB}\mu) + PRA(\text{dBW}) - 30$
   $\rightarrow E_c = \overline{E}_n - PRA + 30 = 50.41 - 10\log(200) + 30 = 57.40$ dBμ
   Ahora llevamos este resultado a la gráfica de O-H:
   - Curva: $h_e = 30$ m
   - Ordenadas: $E_c = 57.40$ dBμ
   - Abscisas: $d = 3$ Km

   Luego, el radio máximo del área de servicio: $\boxed{R = 3 \text{ Km}}$

   d) Una mejor (menor) figura de ruido redunda en una menor (mejor) sensibilidad del receptor y, por lo tanto, en intensidades de campo mínimo y mediano menores. Dichos campos serán obtenibles a distancias mayores de la estación base, por lo que el radio de la zona de servicio aumenta.

9. a) Calculamos primero el campo mínimo necesario. Para receptores de sensibilidad S es:

$E_m(\text{dB}\mu) = S(\text{dB}\mu) + 20\log(f(\text{MHz})) + 10\log\left(\frac{R_d}{R_0}\right) - G_d^* - 33.6$

- $G_d^* = G_d - \alpha l - L = G - 2.15 - \alpha l - L = 3 - 2.15 - 0.2 = 0.65$ dB (no hay datos sobre el alimentador, así que sus pérdidas se consideran irrelevantes)
- $S(\text{dB}\mu) = V(\text{dB}\mu) = W(\text{dB}) + 10\log(V_b(\text{bps})) + F_r - 67$
  W se obtiene de la gráfica:
  - Curva: $f_D = 12$ Hz
  - Ordenadas: $BER = 10^{-3}$
  - Abscisas: $W = 30$ dB

  Con lo que: $S = 30 + 10\log(16\cdot 10^3) + 8 - 67 = 13.04$ dBμ

Con todo ello, el campo mínimo:

$E_m = 13.04 + 20\log(900) + 10\log\left(\frac{72.3}{100}\right) - 0.65 - 33.6 = 36.47\text{dB}\mu$

Ahora introducimos las variaciones estadísticas para obtener el campo mediano:

$\overline{E}_n = E_m + \Delta_e E$ donde:

$\Delta_e E = \{[k(L)\cdot\sigma_L]^2 + [k(T)\cdot\sigma_T]^2\}^{1/2}$

- $k(L) = k(75\,\%) = 0.67$ (tabla distribución normal)
- $k(T) = k(90\,\%) = 1.28$ (tabla distribución normal)

$\Delta_e E = \{[0.67\cdot 1.5]^2 + [1.28\cdot 5.0]^2\}^{1/2} = 6.478$ dB

Con ello, el campo mediano queda:

$\overline{E}_n = 36.47 + 6.478 = \boxed{42.95 \text{ dB}\mu}$

b) La potencia que debe entregar el transmisor será la que deba radiar la antena, menos las pérdidas, para conseguir el campo mediano anterior. Para calcular la potencia radiada utilizamos Okumura-Hata. En primer lugar, obtenemos de la gráfica el campo que produciría en el borde de la celda (3 Km) la pra de referencia:

- Curva: $h_e = 50$ m
- Abscisas: $d = 3$ Km
- Ordenadas: $E_c = 60$ dBμ

Ahora obtenemos la PRA necesaria de la fórmula correctora:

$\overline{E}_n(\text{dB}\mu) = E_c(\text{dB}\mu) + PRA(\text{dBW}) - 30$

$\rightarrow PRA = \overline{E}_n - E_c + 30 = 42.95 - 60 + 30 = 12.95$ dBW

Como $PRA = P_t + G_{BTS,d} = P_t + (G_{BTS} - 2.15)$

$\rightarrow P_t = PRA - (G_{BTS} - 2.15) = 12.95 - (10 - 2.15) = 5.1$ dBW

Ahora deducimos las pérdidas: $P_t = P_{et} - L_{tt} - L_{at} + G_{BTS}$

$\rightarrow P_{et} = P_t + L_{tt} + L_{at} - G_{BTS} = P_t + (\alpha\cdot l_{feeder} + 2\cdot l_{con}) + 10\log\left(\frac{1}{\eta_{BTS}}\right) - G_{BTS}$

$P_{et} = 5.1 + (0.3\cdot 12 + 2\cdot 0.5) + 10\log\left(\frac{1}{0.95}\right) - 10 = -0.077 \text{ dBW} = \boxed{0.982 \text{ W}}$

c) La distancia de reutilización deberá cumplir (antenas sectorizadas):
$D \geq R \cdot [1 + (2 \cdot \overline{r}_p)^{\frac{1}{n}}]$
Obtenemos el valor mediano de la relación de protección, para tener en cuenta las variaciones de los campos eléctricos deseado e interferente al variar los emplazamientos:
$\overline{R}_p(\text{dB}) = R_{p_{th}} + k(L) \cdot \sigma'_L = 18 + 0.67 \cdot 2.12 = 19.42 \text{ dB} \rightarrow \overline{r}_p = 87.51$

- $k(L) = k(75\,\%) = 0.67$ (tabla distribución normal)
- $\sigma'_L = \sqrt{2} \cdot \sigma_L = \sqrt{2} \cdot 1.5 = 2.12$

Con ello, la distancia de reutilización:
$D \geq R \cdot [1 + (2 \cdot 87.51)^{\frac{1}{3.2}}] = \boxed{18.07 \text{ Km}}$

d) Obtenemos el número de celdas del cluster para la distancia de reutilización mínima mediante:
$J \geq \frac{1}{3}\left(\frac{D_{\text{mín}}}{R}\right)^2 = \frac{1}{3}\left(\frac{18.07}{3}\right)^2 = 12.09$
El número rómbico inmediatamente superior es $\boxed{J = 13}$.
La distancia de reutilización resultante de esta geometría es:
$D = \sqrt{3J} \cdot R = \sqrt{3 \cdot 13} \cdot 3 = \boxed{18.73 \text{ Km}}$

10. a) $E_m(\text{dB}\mu) = S(\text{dBu}) + 20\log(f(\text{MHz})) + 10\log\left(\frac{R_d}{R_0}\right) - G^*_d - 33.6 = \boxed{35.30 \text{ dB}\mu}$.

- $G^*_d = G_d - \alpha l - L = G_r - 2.15 - \alpha l - L = 5 - 2.15 - 1 = 1.85$ dB
- $S(\text{dB}\mu) = V(\text{dB}\mu) = W(\text{dB}) + 10\log(V_b(\text{bps})) + F_r - 67 = 10.01 \text{ dB}\mu$
  - $W = 30$ dB para $f_D = 12$ y $BER = 10^{-3}$ (de la gráfica).
- $R_d = 73.2\ \Omega$; $R_0 = 50\ \Omega$ (valores por defecto).

b) $\overline{E}_n = E_m + \Delta_e E = 35.30 + 5.38 = \boxed{40.68 \text{ dB}\mu}$.

- $\Delta_e E = \{[k(L) \cdot \sigma_L]^2 + [k(T) \cdot \sigma_T]^2\}^{1/2} = 5.38$ dB
  - $k(L) = k(90\,\%) = 1.28$, $k(T) = k(95\,\%) = 1.64$ (tabla distribución normal)

c) $P_t = P_T - L_{tt} \rightarrow P_T = P_t + L_{tt} = -1.17 + 1.5 = 0.33 \text{ dBW} \rightarrow p_T = \boxed{1.079 \text{ W}}$

- $PRA = P_t + G_{td} \rightarrow P_t = PRA - G_{td} = 6.68 - 7.85 = -1.17$ dBW
  - $G_{td} = G_t - G_{\lambda/2} = 10 - 2.15 = 7.85$ dBd
  - Obtenemos la PRA de Okumura-Hata:
    $\overline{E}_n(\text{dB}\mu) = E_c(\text{dB}\mu) + PRA(\text{dBW}) - 30 \rightarrow PRA = \overline{E}_n - E_c + 30 = 6.68$ dBW.
    - $E_c = 64.0$ dBμ para $d = 4$ Km y $h_e = 200$ m (de la gráfica).

d) Al aumentar la velocidad, aumentará la frecuencia de desplazamiento Doppler, requiriendo una E_b/N_0 mayor para lograr la misma BER. Esto aumentará la S de los receptores, que requerirán por lo tanto un campo (mínimo y mediano) mayor en el borde de la celda. Por lo tanto, <u>la potencia entregada necesaria será mayor que la calculada</u>.

11. a) $A = B^{-1}((8N - 1), p) = B^{-1}(23, 1.5\,\%) = \boxed{15.2 \text{ E}}$ (tabla Erlang-B)

- $N = C/J = 27/9 = 3$ portadoras por celda. Cada portadora comprende 8 canales TDM. Reservamos un canal para por celda para señalización.
- $p = 1.5\,\%$

b) $\rho_t = m/S_c = 1013.3/64.952 = \boxed{15.6 \text{ terminales/Km}^2}$

- $m = A/a = 15.2/15 \cdot 10^{-3} = 1013.3$ móviles
- $S_c = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot R^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot 5^2 = 64.952 \text{ Km}^2$

c) $M = Q \cdot J \cdot m = 18 \cdot 9 \cdot 1013.3 = \boxed{164154.6 \text{ terminales}}$

- $Q = \left\lfloor \frac{S}{S_r} \right\rfloor + 1 = \left\lfloor \frac{10000}{584.568} \right\rfloor + 1 = 18$
  - $S_r = J \cdot S_c = 9 \cdot 64.952 = 584.568 \text{ Km}^2$

d) $J = \frac{1}{3}\left(\frac{D}{R}\right)^2 \Rightarrow D = R \cdot \sqrt{3J} = 5 \cdot \sqrt{3 \cdot 9} = \boxed{25.981 \text{ Km}}$

e) $\overline{R_p} = R_{pth} + k(L) \cdot \sigma'_L \Rightarrow R_{pth} = \overline{R_p} - k(L) \cdot \sigma'_L = 14.43 - 1.64 \cdot 1.697 = \boxed{11.65 \text{ dB}}$

- $J \geq \frac{1}{3}\left[1 + (2 \cdot \overline{r}_p)^{1/n}\right]^2 \Rightarrow \overline{r}_p \leq \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{3J} - 1)^n = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{3 \cdot 9} - 1)^{2.8} = 27.73 \Rightarrow \overline{R_p} \leq 14.43$ dB
- $k(L) = k(95\,\%) = 1.64$
- $\sigma'_L = \sqrt{2} \cdot \sigma_L = \sqrt{2} \cdot 1.2 = 1.697$