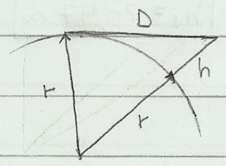
REDES I —

Práctica Nº 8

Radio enlaces

① $r = 6371\ Km$, $D\,[Km]$, $h\,[m]$, $h << r$



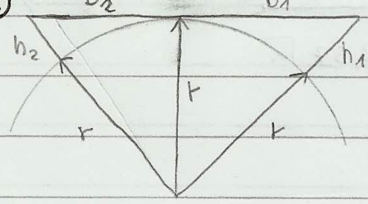
$$(r+h)^2 = r^2 + D^2$$

$$\cancel{r^2} + 2rh + \underbrace{h^2}_{\substack{h<<r \\ h^2 \to 0}} = \cancel{r^2} + D^2 \Rightarrow D = \sqrt{2rh}$$

$$D = \sqrt{2\,(6371\,Km)(0{,}001\,Km)\,h}$$

$$D = 3{,}57\sqrt{h}\ Km$$

②



$$D = D_1 + D_2$$

$$D = 3{,}57\sqrt{h_1}\ Km + 3{,}57\sqrt{h_2}\ Km$$

$$D = 3{,}57\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) Km$$

③ $D = 70\ km$

- 1er antena:
  - Altura = nivel del mar
  - Costo por metro = \$2000
- 2da antena:
  - Altura = 120 m sobre el mar
  - Costo por metro = \$600

Problema de optimización:

$$\begin{cases} D = 3{,}57\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2 + 120}\right) & ① \\ C = \$2000\,h_1 + \$600\,h_2 & ② \end{cases}$$

$$① \rightarrow h_2 = \left(\frac{D}{3{,}57} - \sqrt{h_1}\right)^2 - 120 = \left(\frac{70}{3{,}57} - \sqrt{h_1}\right)^2 - 120 = h_1 - 39{,}21\sqrt{h_1} + 264{,}47$$

$$② \rightarrow C = 2000\,h_1 + 600\left(h_1 - 39{,}21\sqrt{h_1} + 264{,}47\right)$$

$$= 2000\,h_1 + 600\,h_1 - 23526\sqrt{h_1} + 158.682$$

$$= 2600\,h_1 - 23.526\sqrt{h_1} + 158.682$$

Debemos minimizar el costo, por lo tanto aplicamos la derivada e igualamos a cero.

$$\frac{\partial C}{\partial h_1} = 2600 - 23.526 \cdot \frac{1}{2} h_1^{-1/2} = 0 \Rightarrow 2600 - \frac{11.763}{\sqrt{h_1}} = 0$$

$$\frac{11.763}{\sqrt{h_1}} = 2600$$

$$h_1 = \left(\frac{11.763}{2.600}\right)^2 \Rightarrow \boxed{h_1 = 20,47\ m}$$

$$h_2 = 20,47\ m - 39,21\sqrt{20,47\ m} + 264,47 \Rightarrow \boxed{h_2 = 107,53\ m}$$

④ $D = 30\ km$, $h_1 = 30\ m$, $k = 4/3$

$$D = 3,57\left(\sqrt{kh_1} + \sqrt{kh_2}\right) \Rightarrow D = 3,57\sqrt{k}\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) \Rightarrow \frac{D}{3,57\sqrt{k}} = \sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_2 = \left(\frac{D}{3,57\sqrt{k}} - \sqrt{h_1}\right)^2 = 3,24\ m$$

⑤ Si no se considera el efecto de refracción k:

- $D = 3,57\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) \Rightarrow h_2 = \left(\frac{D}{3,57} - \sqrt{h_1}\right)^2 = 8,56\ m$

- Altura $= 8,56\ m - 3,24\ m = 5,32\ m$

⑥ Antena isotrópica : $G = 1$

$$G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \Rightarrow A_{eff} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \Rightarrow A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

⑦ diámetro: $d = 3\ m$, eficiencia de apertura: $e = 0,56$, $F_1 = 4\ GHz$, $F_2 = 6\ GHz$

- Área física de la antena:

$$A_{real} = \pi r^2 = \pi (1,5\ m)^2 = 7,068\ m^2$$

$$A_{eff} = A_{real} \cdot e = (7,068\ m^2)(0,56) = 3,958\ m^2$$

- $F = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{c}{F} \Rightarrow \lambda^2 = \frac{c^2}{F^2} \Rightarrow \frac{1}{\lambda^2} = \frac{F^2}{c^2}$

• $G = \frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_{eff}}{c^2}$

Entonces:

$$G_1 = \frac{4\pi f_1^2 A_{eff}}{c^2} = \frac{4\pi (4 \times 10^9 Hz)^2 (3{,}958 m^2)}{(3 \times 10^8 m/s)^2} = 8.842{,}26 \text{ dB}$$

$$G_2 = \frac{4\pi f_2^2 A_{eff}}{c^2} = \frac{4\pi (6 \times 10^9 Hz)^2 (3{,}958 m^2)}{(3 \times 10^8 m/s)^2} = 19.895{,}08 \text{ dB}$$

8 $f_1 = 4$ GHz , $f_2 = 6$ GHz , $D = 50$ km

$h_1 = 50$ m , $h_2 = 55$ m , $Srx = 25$ dBm , $Ptx = 60$ dBm

Zonas sembradas (Factor de rugosidad = 3) , clima cálido y húmedo (factor climático = 0,5)

2 antenas parabólicas , diámetro = 2 m , eficiencia de apertura = 0,53

• Primero hay que comprobar si las antenas tienen la altura suficiente para estar dentro del horizonte visible:

$$D = 3{,}57\sqrt{K}\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)$$

$$D = (3{,}57)\left(\sqrt{4/3}\right)\left(\sqrt{50} + \sqrt{55}\right)$$

$D = 59{,}72$ km > 50 km $\Rightarrow$ la altura de los edificios es suficiente

• Ahora es necesario comprobar si la potencia de los equipos y la ganancia de las antenas es suficiente para establecer el enlace. Sólo hacemos los cálculos para la banda de 4 GHz, dado que si se puede transmitir a esta frecuencia, se podrá transmitir a frecuencias mayores.

La ganancia de las antenas es:

• $A_{real} = \pi r^2 = \pi (d/2)^2 = \pi (2/2)^2 = \pi m^2 \Rightarrow A_{eff} = A_{real} \cdot e = \pi \cdot 0{,}53 = 1{,}665 \text{ m}^2$

• $G = \frac{4\pi f_1^2 A_{eff}}{c^2} = \frac{4\pi (4 \times 10^9 Hz)^2 (1{,}665 m^2)}{(3 \times 10^8 m/s^2)^2} = 3719{,}65$ dB

• $G_{(dBi)} = 10 \cdot \log_{10} G = 10 \cdot \log_{10} (3719{,}65) = 35{,}705$ dBi

• La pérdida en el espacio libre, si tomamos un factor de rugosidad de 3 por los sembrados y un factor climático de 0,5 por el clima cálido y húmedo (estos valores salen de la tabla 2: composición y valores del margen de desvanecimiento) es:

$$L_s = 20\log D + 20\log(6\cdot A\cdot B\cdot F) - 10\log(1-R) + 92{,}44$$
$$= 20\cdot\log(50\,Km) + 20\log(6\cdot 3\cdot 0{,}5\cdot 4\,GHz) - 10\log(1-0{,}95) + 92{,}44$$
$$= 33{,}979\ dB + 31{,}126\ dB - (-13{,}01\ dB) + 92{,}44$$
$$= 170{,}55\ dB$$

• Ahora, la potencia recibida por el transmisor es:

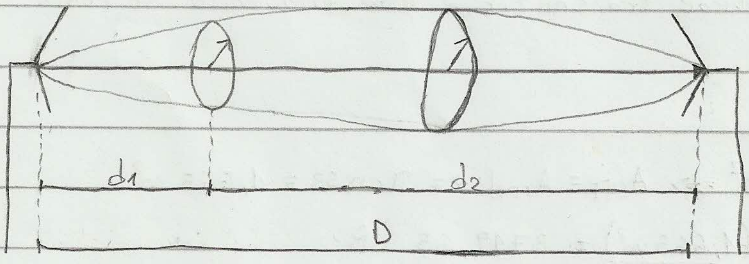
$$P_{rx} = P_{tx} + G_{A1} - L_s + G_{A2} = 60\ dB_m + 35{,}705\ dBi - 170{,}55\ dB + 35{,}705\ dBi$$
$$P_{rx} = -39{,}14\ dB_m$$
$$\Rightarrow P_{rx} = -39{,}14\ dB_m < S_{rx} = -25\ dB_m$$

Como es menor que la sensibilidad del equipo receptor, el enlace no funcionará. Para solucionar esto existen 3 alternativas:

a) Cambiar el transmisor por uno más potente (al menos 15 dB_m más potente)
b) Cambiar el receptor por uno más sensible (15 dB_m más sensible)
c) Cambiar las antenas por unas más grandes y/o con mayor eficiencia de apertura, para aumentar la ganancia en al menos 7,5 dBi cada una.

Estas opciones se pueden combinar siempre y cuando en la suma se aumente la potencia recibida en al menos 15 dB.

9 F = 2 GHz , D = 5 Km , obstáculo: de 12 m de alto a 2 km del primer punto



$D = d_1 + d_2$, $d_1 = 2\,km$

$d_2 = 3\,km$

$$r_n = \sqrt{\frac{n\cdot\lambda\cdot d_1\cdot d_2}{d_1+d_2}} = \sqrt{\frac{n\cdot c}{F}\cdot\frac{d_1 d_2}{d_1+d_2}}\ ,\quad \lambda = \frac{c}{F}$$

• Radio de la zona de Fresnel:

$$r_1 = \sqrt{\frac{1 \cdot (3 \times 10^8\ m/s)}{(2 \times 10^9\ Hz)} \cdot \frac{(2000\ m)(3000\ m)}{(2000\ m + 3000\ m)}} = 13{,}42\ m$$

• El 60% de este radio es 8 m, es decir, la línea de visión que une las antenas debe superar el obstáculo por 8 m y, dado que las antenas tienen la misma altura y no consideramos la curvatura de la tierra, la LOS (línea de visión) está a la misma altura que las antenas en todo su trayecto.
Por lo tanto, ambas antenas deben tener 8 m + 12 m = 20 m de altura.

(10) $F = 2\ GHz$, $h_1 = 35\ m$, $h_2 = 45\ m$, $D = 800\ m$, $d_1 = d_2 = 400\ m$

• Radio de la primera zona de Fresnel:

$$r_1 = \sqrt{\frac{c}{F}\frac{d_1 d_2}{d_1+d_2}} = \sqrt{\frac{(3 \times 10^8\ m/s)}{(2 \times 10^9\ Hz)}\frac{(400\ m)^2}{(800\ m)}} = 5{,}47\ m$$

• En el punto medio, la LOS pasará exactamente por la altura media de los dos edificios, esto es:

$$h_{LOS} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{35\ m + 45\ m}{2} = 40\ m$$

• Entonces, la máxima altura que puede tener el edificio, para dejar la primera zona de Fresnel completamente despejada, es:

$$H = h_{LOS} - r_1 = 40\ m - 5{,}47\ m = 34{,}53\ m$$

(11) $D = 47\ Km$, terreno: boscoso, clima: caliente y muy húmedo

$P_{tx} = 50\ W$, $F = 2{,}4\ GHz$

Cable coaxial: 70 m en transmisión y 80 m en recepción, con dos acopladores

Diversidad en la polaridad, confiabilidad: 99,9998%

Antena de transmisión: parabólica de rejilla, 90 cm de diámetro

Antena de recepción: parabólica sólida, 1,8 m de diámetro

a) Cálculo de la potencia de transmisión en dBW y dBm

$dBW = 10 \log (50\ W) = 16{,}98\ dBW$

$dBm = 10 \log (50000\ mW) = 46{,}98\ dBm$; $dBm = dBW + 30$

b) Cálculo de las pérdidas causadas por el cable coaxial, diversidad y acople, en el transmisor:

- Pérdida por coaxial (ver tabla 1):

  $F = 2{,}4\ GHz \Rightarrow$ Atenuación $= 5{,}8\ dB/100\ m$

  $\Rightarrow A = (5{,}8\ dB/100m)(70\ m) = 4{,}06\ dB$
- Pérdida por diversidad: 2 dB
- Pérdida por par de acoples: 1,2 dB

$4{,}06 + 2 + 1{,}2 = 7{,}26\ dB$

c) Cálculo de las pérdidas causadas por el cable coaxial, diversidad y acoples, en el receptor:

- Pérdida por coaxial:

  $F = 2{,}4\ GHz \Rightarrow$ Atenuación $= 5{,}8\ dB/100m$

  $\Rightarrow A = (5{,}8\ dB/100m)(80\ m) = 4{,}64\ dB$
- Pérdida por diversidad: 2 dB
- Pérdida por par de acoples: 1,2 dB

$4{,}64 + 2 + 1{,}2 = 7{,}84\ dB$

d) Ganancia de la antena transmisora:

Antena parabólica de rejilla (ver tabla 4):

diamétro $= 0{,}9\ m$ y $F = 2{,}4\ GHz \Rightarrow G_{A1} = 23{,}1\ dB$

e) Ganancia de la antena receptora:

Antena parabólica sólida (ver tabla 3):

diametro $= 1{,}8\ m$ y $F = 2{,}4\ GHz \Rightarrow G_{A2} = 28{,}6\ dB$

f) Pérdidas en la trayectoria del espacio libre:

$L_T(dB) = 92{,}44 + 20 \cdot \log F + 20 \cdot \log D$

$L_T(dB) = 92{,}44 + 20 \log (2{,}4\ GHz) + 20 \log (47\ km)$

$L_T(dB) = 133{,}48$

Práctico N° 8

g) Pérdidas causadas por el margen de desvanecimiento:

$L_D(dB) = 30 \log D + 10 \log(6ABF) - 10 \log(1-R) - 70$

$L_D(dB) = 30 \log(47\ Km) + 10 \log(6 \cdot 2 \cdot 0{,}5 \cdot 2{,}4\ GHz) - 10 \log(1 - 0{,}999998) - 70$

$L_D(dB) = 50{,}16 + 11{,}58 - (-56{,}98) - 70$

$L_D(dB) = 48{,}72$

h) Potencia recibida en W, dBW y dBm:

• Pérdidas del sistema:

$L_S(dB) = L_{At} + L_{Ar} + L_T + L_D - G_{A1} - G_{A2}$

$L_S(dB) = 7{,}26 + 7{,}84 + 133{,}48 + 48{,}72 - 23{,}1 - 28{,}6$

$L_S(dB) = 145{,}6$

• Potencia recibida:

$P_{rx}(dBW) = P_{tx}(dBW) - L_S(dB) = 16{,}98\ dBW - 145{,}6\ dB = -128{,}62\ dBW$

$P_{rx}(dBm) = P_{rx}(dBW) + 30 = -128{,}62\ dBW + 30 = -98{,}62\ dBm$

$P_{rx}(W) = 10^{P_{rx}(dBW)/10} = 10^{-128{,}62/10} = 10^{-12{,}862} = 1{,}374 \times 10^{-13}\ W = 137{,}40\ fW$ (femtowatts)

i) El Rx marca "Holland", cuyo umbral o sensitividad es de -110 dBm es el único que puede escuchar a una potencia de $-98{,}62$ dBm ($P_{rx} \geq S_{rx}$).