

HackatH2On IoT

La telelectura al servei de la ciutadania, la ciutat, i el medi ambient.



Aigües de
Barcelona



Innovació

Amb la col·laboració de: **CETAQUA**
CENTRO TECNOLÓGICO DEL AGUA

AllWize

HackatH₂O_n IoT

Conceptes clau de radio freqüència

Xose Pérez



**Aigües de
Barcelona**



Innovació

Amb la col·laboració de:

CETAQUA
CENTRO TECNOLÓGICO DEL AGUA

AllWize

Ràdio

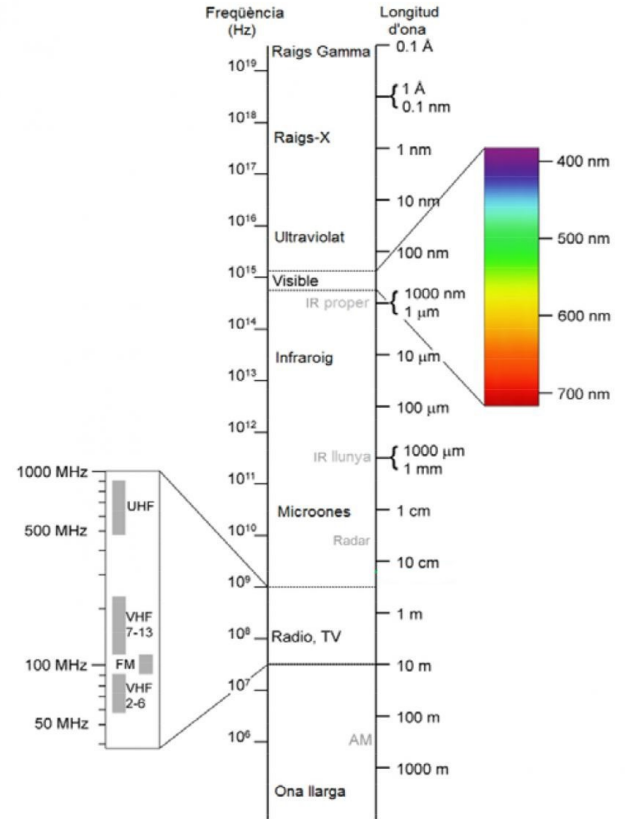
Per entendre les diferències entre les diferents tecnologies, les característiques de la transmissió o de les antenes, cal tenir un coneixement bàsic d'alguns conceptes de ràdio.

Freqüència i longitud d'ona

La freqüència és la característica principal d'un senyal electromagnètic: el nombre de vegades que vibra per segon, expressat en Hertz (1Hz=1/s). La longitud d'ones és la distància que la ona viatja en un període i s'expressa en metres (m).

$$f = c / \lambda$$

Una forma fàcil de «traduir» entre freqüència i longitud d'ona és saber que **una ona a 300MHz té una longitud d'1 metre**. Una ona a 600MHz tindrà 50cm de longitud i una a 150MHz tindrà 2 metres. Un senyal a 868MHz (like the one used by LoRaWAN in Europe) té una longitud d'ona de 34,5cm, la WiFi a 2.4GHz només 12,5cm i un senyal a 169MHz (com Wize) de 178cm.



Decibels

El decibel és una unitat logarítmica sense dimensió (relativa) que representa el guany o pèrdua d'una magnitud. En telecomunicacions calculem el guany (o pèrdua) en potència així:

$$g_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log(p_o / p_i)$$

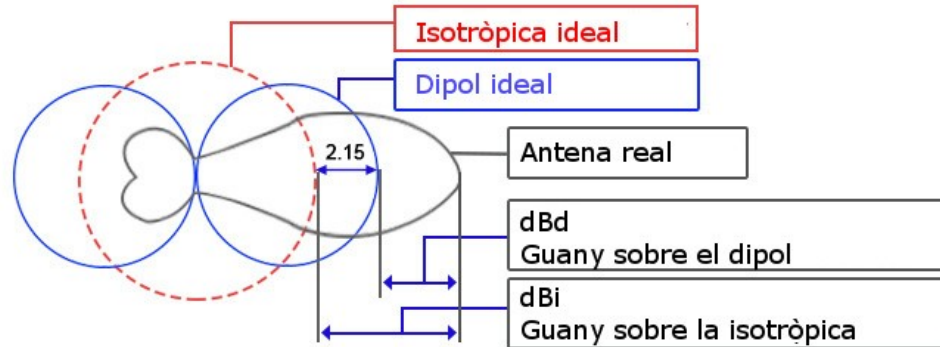
Per tant, +3dB és equivalent a un guany de 2 (la potència de sortida és el doble que la d'entrada). +6dB són 4 vegades, +9dB significa 8 vegades, +10dB significa multiplicar per 10, +20dB són 100 vegades més i +30dB és un factor de 1000.

A partir del decibel podem definir altres unitats absolutes i relatives:

- dBW: el guany sobre 1W
- dBm: el guany sobre 1mW (1dBW = 30dBm)
- dBi: el guany relatiu a una antena isotròpica en la direcció de màxima radiació
- dBd: el guany relatiu a un dipol en la direcció de màxima radiació (dBd = 2.15 + dBi)

Guany de l'antena

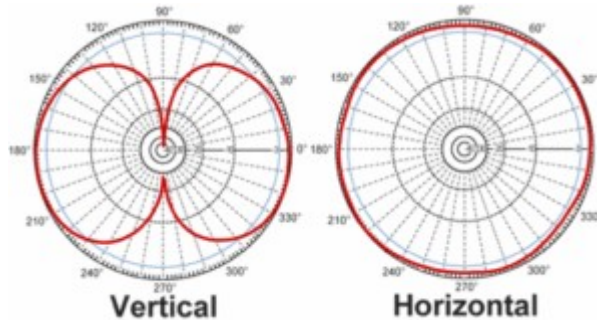
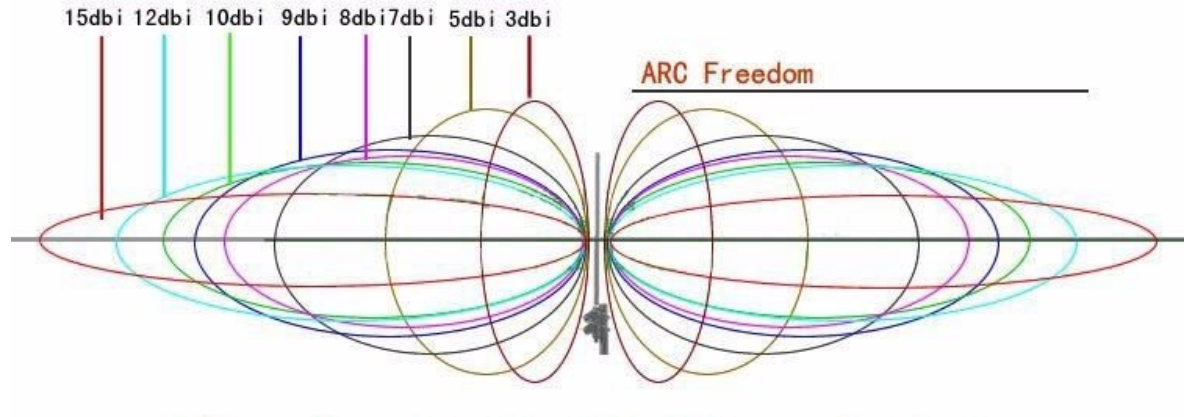
Una antena radia energia d'acord amb un patró característics (patró de radiació), més o menys direccional, amb una determinada amplada del feix... Diem que el guany de l'antena és **la raó (en decibels) de la potència radiada en la direcció de màxima radiació respecte una referència** (antena isotròpica o dipol) Per tant: no és que l'antena transmeti més energia, simplement ho fa preferentment en determinada o determinades direccions



Direccionalitat

El guany de l'antena està relacionat amb la seva direccionalitat. Una major direccionalitat (menys «omni») implica un major guany en aquella direcció i pèrdues en altres direccions.

Les antenes direccionals són molt interessants per fer radioenllaços, però no per emissores o per proporcionar cobertura.



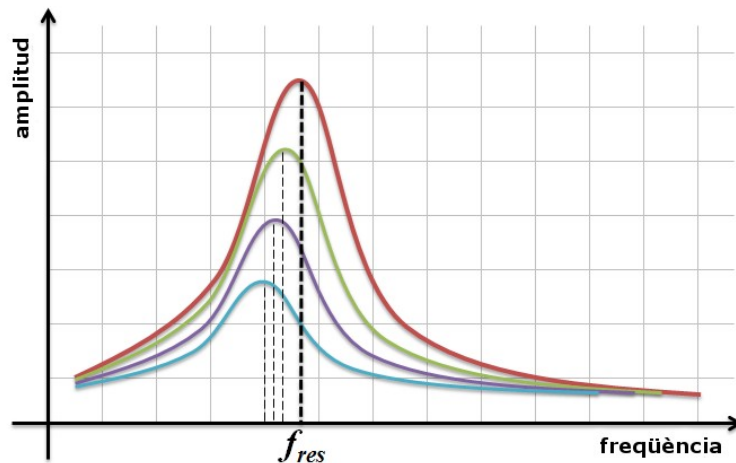
Freqüència de ressonància

La **freqüència de ressonància** és aquella per la que l'amplitud del senyal és més gran. Està relacionada amb la longitud de l'antena, és a dir el camí d'anada i tornada dels electrons en el cos de l'antena. Quan aquests s'acceleren dins l'antena creen un camp electromagnètic.

$$f = c / \lambda$$

Quan es dissenya una antena es fa perquè ressoni a la freqüència principal del senyal que volem transmetre, per evitar pèrdues en la transmissió o una major sensibilitat en la recepció.

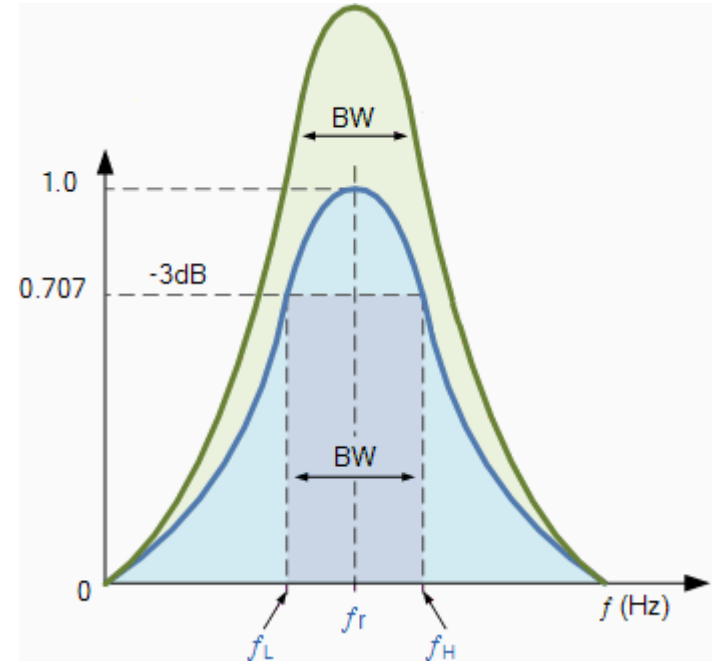
Una antena pot tenir diferents freqüències de resonància (**multibanda**) . També es poden trobar associades a dispositius que modifiquen la freqüència de ressonància (**sintonitzadors**).



Ample de banda

Una antena, tot i estar sintonitzada per una determinada freqüència, oferirà una certa sensibilitat a freqüències properes.

Anomenem **ample de banda de l'antena** al rang de freqüències al voltant de la freqüència de ressonància per les quals la potència transmesa o rebuda està per sobre de -3dB relatiu al màxim.



Impedància

La impedància és la resistència complexa d'una antena i ha de ser la mateixa per tots els elements del circuit de transmissió del senyal.

La impedància és una funció de la resistència, la capacitància i la inductància del circuit. Les dos darreres depenen de la freqüència del senyal. La freqüència de ressonància de l'antena serà aquella per la que la inductància i la capacitància es cancel·len mútuament.

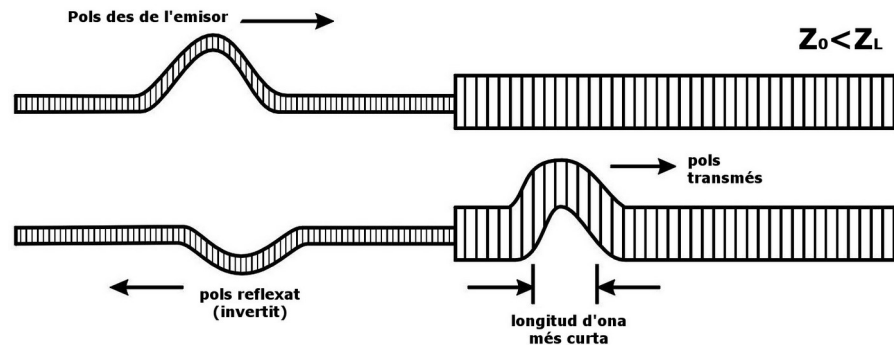
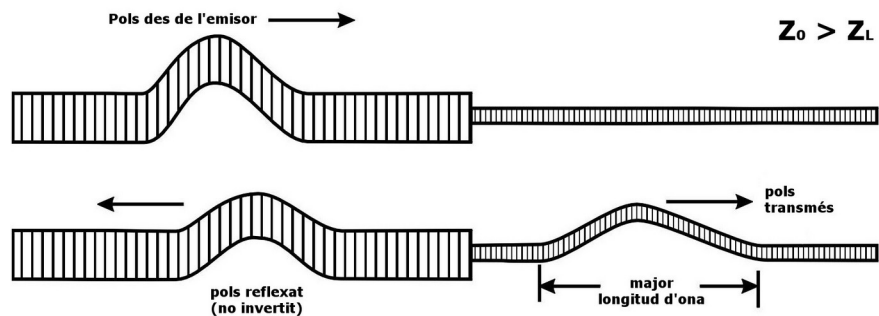
La **impedància característica** d'un conductor (o una antena) és el valor de la impedància per un element de longitud infinita (o sense reflexió). El valor típic d'impedància d'una antena és de **50Ω**.

Existeixen solucions per «adaptar» la impedància d'un circuit a una antena fent servir ponts en «T» or « π ».

Impedància



Impedància



Coeficient de reflexió

Si la impedància del circuit no és la mateixa que la de l'antena, la transmissió d'energia no serà eficient i podria retornar cap al circuit i fer-lo malbé. Aquesta és una de les raons per la qual mai hauries de obrir un dispositiu de ràdio sense haver-hi prèviament connectat l'antena, ja que seria l'equivalent a tenir una antena de impedància infinita i tots l'energia seria reflexada.

Una bona antena no hauria de tenir un coeficient de reflexió superior al 11% ($VSWR < 2$, *Voltage Standing Wave Ratio*) a la seva freqüència de resonància.

$$|\Gamma| = (VSWR - 1) / (VSWR + 1) \quad VSWR = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|)$$

On Γ (també conegut com a s_{11}) és el coeficient de reflexió de l'antena, una mesura del percentatge d'energia que és reflexada i per tant no transmesa a l'aire:

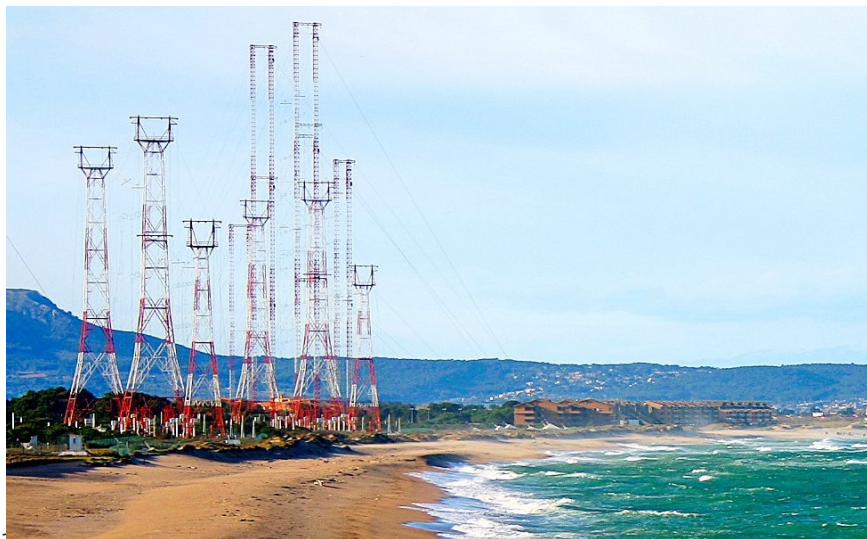
$$P_{REFLEXADA} / P_{TOTAL} = |\Gamma|^2$$

$$R(\%) = 100 \cdot |\Gamma|^2$$

$$R(dB) = 20 \cdot \log(|\Gamma|)$$

Potència de transmissió

La potència màxima de transmissió està regulada per el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) a Europa i depèn de la freqüència Per la banda dels 868MHz el màxim permès és de 14dBm (25mW). Als EUA el FCC permet fins a 21dBm (126mW) a la banda dels 915MHz. Com a comparativa, la potència de transmissió de les antenes de *Radio Liberty* a Pals era de 90dBm (1MW).



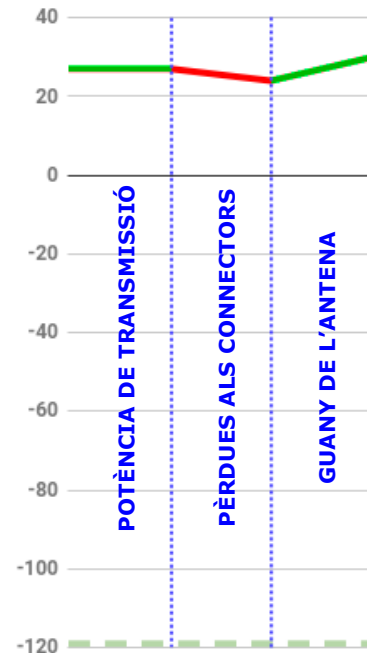
Banda	dBm	mW
169MHz	27	500
433MHz	10	10
868MHz	14	25
2.4GHz	18-20	63-100
5GHz	20-23	100-200
"4G"	20-43	100-20.000
"5G"	24-50	250-100.000

Potència equivalent radiada (ERP)

Seria la potència de transmissió teòrica necessària per tenir la mateixa potència radiada que un dipol (o una isotròpica en el cas de la EIRP) en un determinat punt de l'espai en la direcció de major guany de l'antena.

És el resultat d'aquest càlcul:

$$P_{ERP} = P_{TX} + L_C + G_{TX}$$

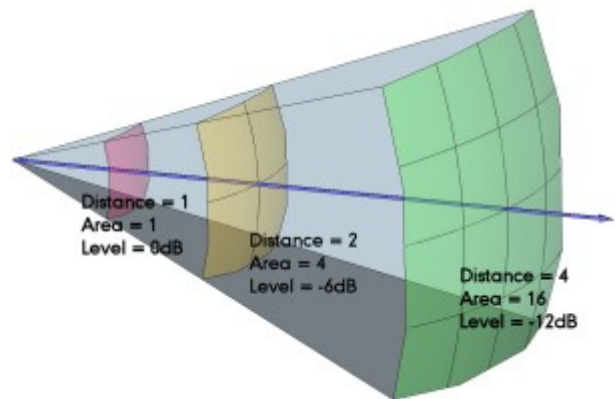


Potència de transmissió i distància

Multiplicar per dos la potència de transmissió no multiplica per dos la distància a la que podem arribar. Aquesta energia es reparteix sobre la superfície d'una esfera que creix amb el quadrat de la distància:

$$S(r) = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

Per tant, per doblar el rang o abast de la nostra transmissió hem de multiplicar per 4 la potència de transmissió, o és que és el mateix sumar-hi +6dB.



Atenuació – Pèrdues per el camí

Aquestes pèrdues són les degudes a la distància i obstacles en el camí del senyal. Existeixen diferents models teòrics per calcular les «pèrdues per el camí» (*path loss*) donat un determinat entorn. El més senzill diu:

$$L_A(R) = L_0 - 10 \cdot n \cdot \log(R)$$

On R és la distància, L_0 és la pèrdua característica a 1 metre de la font o antena (són -17dB per 169MHz, comparats amb -31.2dB per 868MHz) i n és un factor experimental per tenir en compte el tipus d'entorn.

Aquest model calculat en condicions ideals (sense obstacles) per pèrdues a l'aire lliure (n=2) reproduceix el valor de **-6dB per doblar la distància**.

Descripció	n
Aire lliure	2.0
Interior d'una botiga	1.8-2.2
Oficina	2.6-3.0
Fàbrica	3.3
Edifici, sense visió directa	2.1-4.5
Interiors mixtes	1.2-6.5

Atenuació - Obstacles

Els diferents materials tenen un impacte diferent sobre les ones electromagnètiques en funció a tres paràmetres: composició del material, densitat i gruix.





La composició afecta de manera diferent a ones de diferent freqüència. La densitat i el gruix tenen un impacte linear proporcional en l'atenuació.

	Atenuació (dB)		
Objecte / Material	500 MHz	1 GHz	2.4 GHz
Cos humà	2	3	4.2
Maó de 17cm	3.5	5.5	7.5
20cm de formigó	21	25	32
1cm de pladur	0.1	0.3	0.6
1cm de vidre	1.2	2.2	3.4
10cm de formigó armat	23	27	31
7cm de fusta	1.5	3	4.7

Atenuació - Cables

També els cables i connectors entre els diferents elements impliquen pèrdues en la potència de transmissió. És particularment important no fer servir cables massa llargs entre la ràdio i l'antena.

https://www.qsl.net/co8tw/Coax_Calculator.htm

Cable	Descripció	Atenuació (dB/m)	
RG59	6.14mm, malla simple	0.56	
RG223	5.33mm, malla doble	0.44	
RG214	10.8mm, malla doble	0.24	
LCF12	12.7mm, rígid	0.07	

Atenuació - Connectors

Les pèrdues típiques són de -0.1dB (al voltant d'un 2% del senyal). Els connectors d'alta fidelitat tenen pèrdues més baixes (-0.01dB).

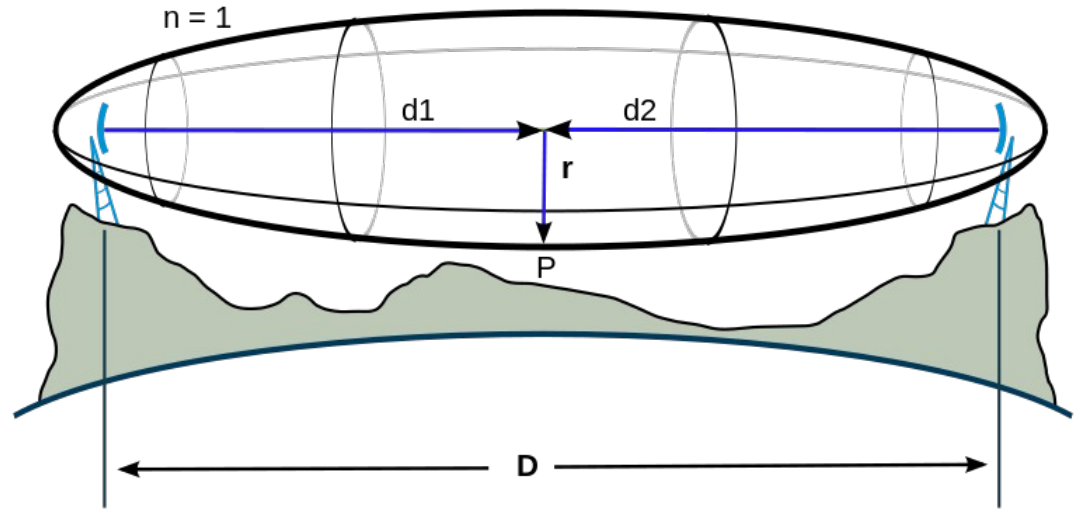


Zones de Fresnel

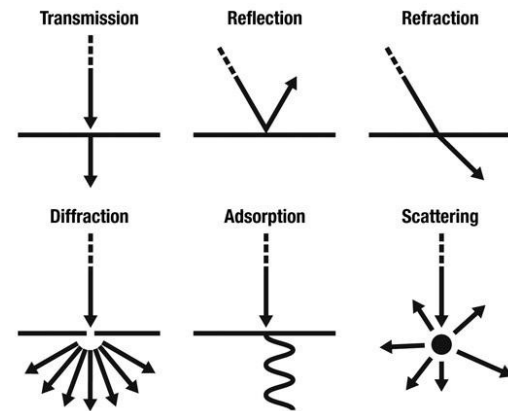
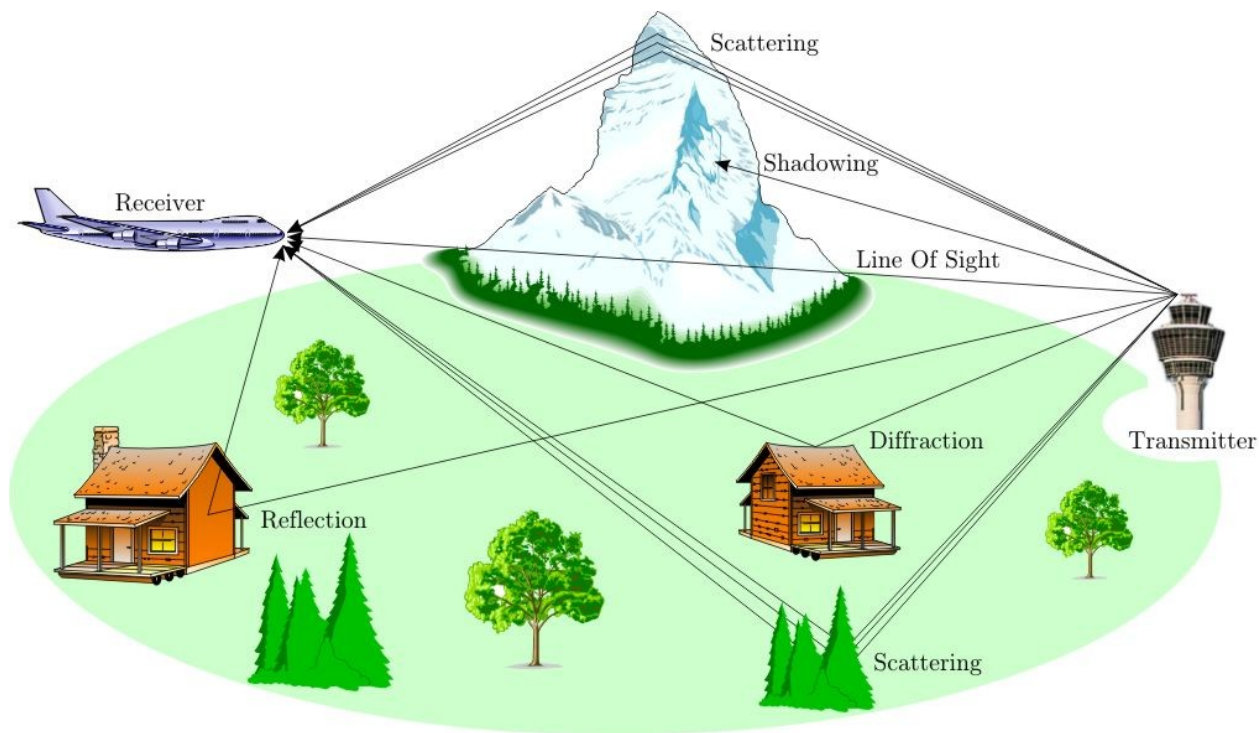
Sovint parlem de la importància de tenir «**visió directe**» (line of sight, LOS) entre el transmissor i el receptor. Però obstacles a prop de la línia de visió també tenen un impacte en el senyal.

$$F_n = \sqrt{(n \cdot c \cdot d_1 \cdot d_2 / (d_1 + d_2)) / f}$$
$$r = F_1 (d_1 = d_2 = D/2) = \sqrt{(c \cdot D / f / 4)}$$
$$r(868\text{MHz}, D=1\text{km}) = 9\text{m}$$

En general, si el 80% de la primera zona de Fresnel ($n=1$) està lliure d'obstacles tenim realment visió directe entre els dos punts.



Reflexió, difracció, dispersió...



Relació entre senyal i soroll (SNR)

La distància a la que es pot rebre un senyal de ràdio també depen de la relació entre el senyal i el soroll de fons. Aquest depèn evidentment, del soroll electromagnètic d'ambient però també de la velocitat de transmissió (*data rate*) del senyal.

Senyals transmesos a velocitats més altres requereixen de relacions senyal-soroll més favorables per poder ser descodificades Un exemple: el senyal WiFi a 6Mbps arribarà 7 vegades més lluny que un de 54Mbps en el mateix entorn.

Modulació	Data rate (Mbps)	SNR mínim necessari
BPSK 1/2	6	8
BPSK 3/4	9	9
QPSK 1/2	12	11
QPSK 3/4	18	13
16-QAM 1/2	24	16
16-QAM 3/4	36	20
64-QAM 1/2	48	24
64-QAM 3/4	54	25

Balanç de l'enllaç (Link budget)

El balanç de l'enllaç és la suma de tots els guanys i pèrdues en la transmissió:

$$L_B = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} + L_{RX} + L_{TX} + L_C + L_A + L_O$$

Guanys:

- Potència de transmissió (P_{TX})
- Guany de l'antena de transmissió (G_{TX})
- Guany de l'antena de recepció (G_{RX})

Pèrdues:

- Adaptació de les antenes (L_{RX} and L_{TX})
- Cables i connectors (L_C)
- Aire (L_A)
- Obstacles (L_O)

Si el balanç major que la **sensibilitat del receptor** ($L_B > S_{RX}$) la recepció és possible.

Exemple de balanç de l'enllaç

Fem un exemple de càlcul del balanç de l'enllaç entre una passarel·la Wize i un node.

Guany:

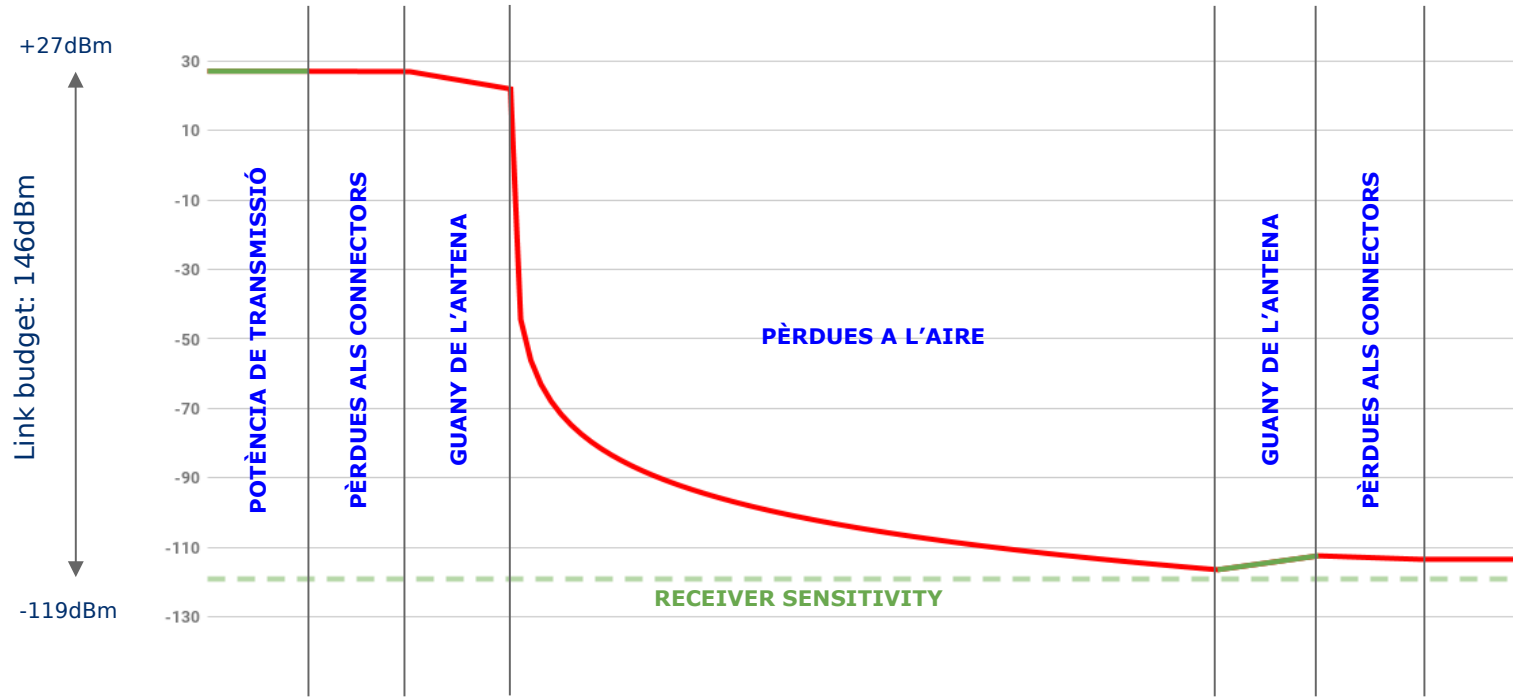
- Potència de transmissió: +27dBm (màxim permès per l'ETSI)
- Sensibilitat equivalent de recepció: de -119dBm (RC1701HP @ 2.4kbps) a -126dBm (equip industrial @ 2.4kbps)
- Guany de l'antena de transmissió: -9dBi (H169-SMA)
- Guany de l'antena de recepció: -9dBi (H169-SMA) o +4dBi (antena professional al terrat)

Pèrdues:

- Connector al node: -0.1dB
- Connector a la passarel·la: -0.1dB
- Constant d'entorn: 4 (urbà)

Source: Radiocrafts AN021

Balanç de l'enllaç (fent servir plaques d'AllWize)



Càlcul de l'abast (pitjor escenari)

$$S_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} + L_C + L_A$$
$$-119 = 27 - 9 - 9 - 0.2 + L_A$$

$$L_A = -127,8\text{dB}$$

$$L_A = L_0 - 10 \cdot n \cdot \log(R) = -17 - 10 \cdot n \cdot \log(R)$$

$$R = 10^{11,08/n}$$

n	R (km)
4 (urbà)	~0.6
3 (rural)	~5.0
2 (aire lliure)	~350

Càlcul de l'abast (millor escenari)

$$\begin{aligned}S_{RX} &= P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} + L_C + L_A \\-126 &= 27 + 4 - 9 - 0.2 + L_A \\L_A &= -147,8\text{dB} \\L_A &= L_0 - 10 \cdot n \cdot \log(R) = -17 - 10 \cdot n \cdot \log(R) \\R &= 10^{13,08/n}\end{aligned}$$

n	R (km)
4 (urbà)	~1.8
3 (rural)	~23
2 (aire lliure)	~3500

Consells

Receptor

- Fer servir una **antena omnidireccional**.
- Bona connexió a terra i protecció contra llamps.
- Situar l'antena elevada respecte el terra.
- **Lluny d'obstacles**, principalment dels metàl·lics.
- Cables le més curts possible (**passarel·la en màstil**).
- Cables coaxials de qualitat entre la passarel·la i l'antena.

Node

- Pensar en la **polarització** de l'antena (orientació).
- Comprovar la el pla de terra de l'antena o, encara millor, fer servir un dipol.

Ambdós

- Conectors de bona qualitat.
- Tots els elements amb la mateixa **impedància**!

Gràcies



Aigües de
Barcelona



Innovació