

# THE THINGS NETWORK.CAT

TALLER AVANÇAT

**Xarxa comunitària per l'Internet de les Coses**

**@ttncat**  
thethingsnetwork.cat

**@thethingsntwrk**  
thethingsnetwork.org

## Introducció

# CONCEPTES CLAU DE RADIO FREQUÈNCIA

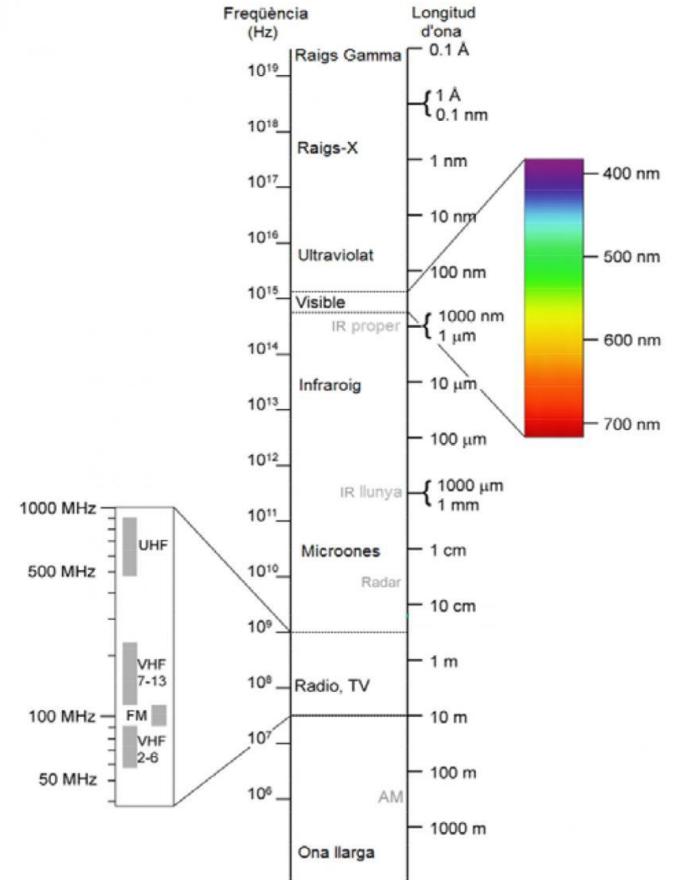
# FREQÜÈNCIA I LONGITUD D'ONA



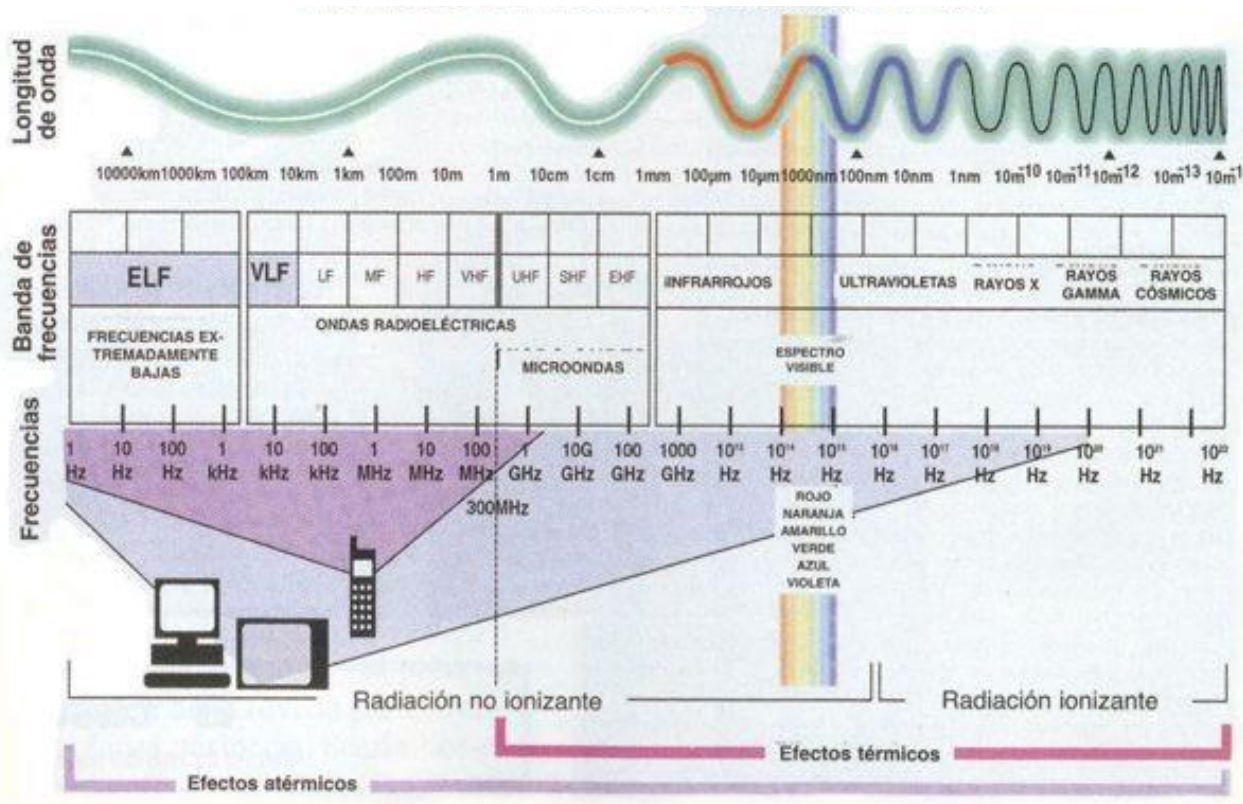
La freqüència és la característica principal d'un senyal electromagnètic: el número de vegades que vibra per segon i s'expressa en Hertz (1Hz=1/s). La longitud d'ona és quan de camí viatja l'ona en un període i s'expressa en metres (m).

$$f = c / \lambda$$

Una forma fàcil de passar d'un a l'altre fent càlcul mental és sabent que **una ona de freqüència 300MHz té una longitud d'1m**. Una de 600MHz serà per tant de 50cm i una de 150MHz de 2m. Una ona a 868MHz (como les que es fan servir a TTN) té una longitud de 34.5cm i una de WiFi (2400MHz) és de 12.5cm.



# ESPECTRE ELECTROMAGNÈTIC



# DECIBELS



Unitat adimensional (relativa) logarítmica que indica el guany o pèrdua en una transmissió. En telecomunicacions parlem de guany (o pèrdues) de potència i es calcula com:

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

Per tant, +3dB és equivalent a un guany de 2 (la potència de sortida és el doble que la d'entrada). +6dB és un factor 4, +9dB és un factor 8, +10dB és un factor 10, +20dB es un factor 100 o +30dB és un factor 1000.

A partir d'aquí es parla de diferents unitats absolutes i relatives:

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

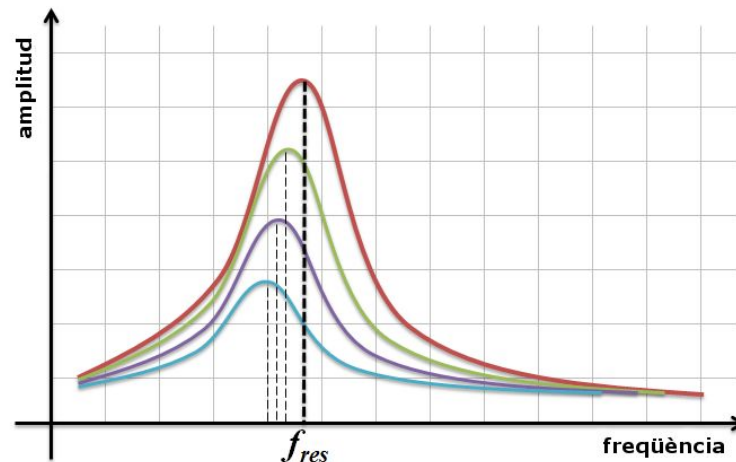
# FREQÜÈNCIA DE RESSONÀNCIA

La **freqüència de ressonància** és la aquella a la qual la amplitud del senyal emès o rebut és més gran. La freqüència està relacionada amb la longitud de l'antena, és a dir, el camí que fan els electrons d'anada i tornada pel cos de l'antena. Els electrons en accelerar-se en el cos de l'antena generen un camp electromagnètic.

$$f = c / \lambda$$

Quan dissenyem una antena volem que ressoni a la freqüència principal del senyal, de manera que tinguem el mínim de pèrdua en l'emissió o el màxim de sensibilitat en la recepció.

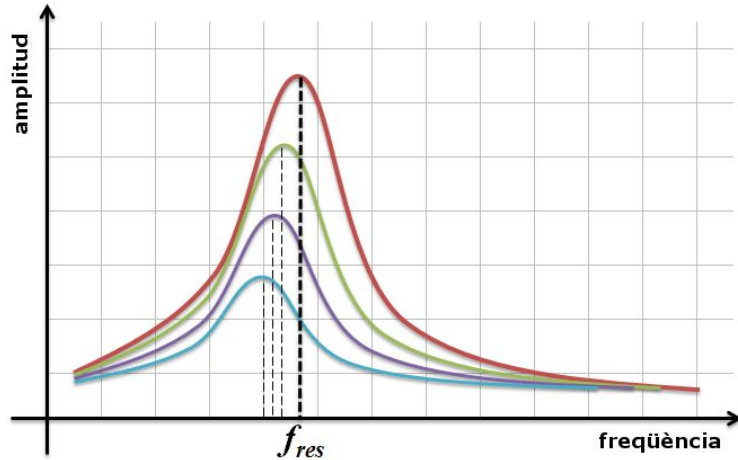
Una antena pot tenir diferents freqüències de ressonància (**multi-banda**). Sovint es fan servir artefactes per modificar la freqüència de ressonància d'una antena (**sintonitzar**).



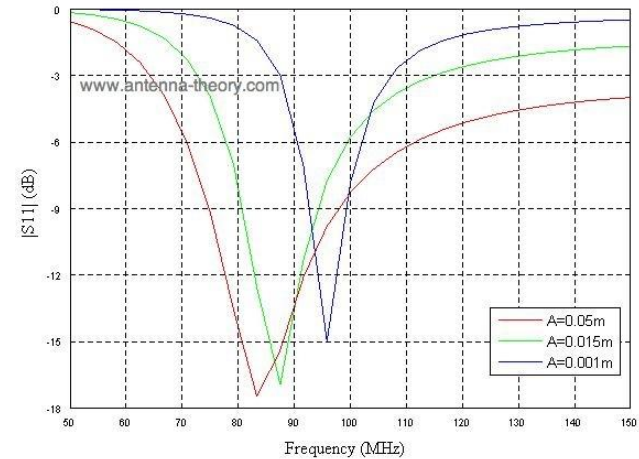


# FREQÜÈNCIA DE RESSONÀNCIA

Podem trobar gràfics d'emissió...



...o de recepció, on el que ens indiquen és la **sensibilitat** del receptor

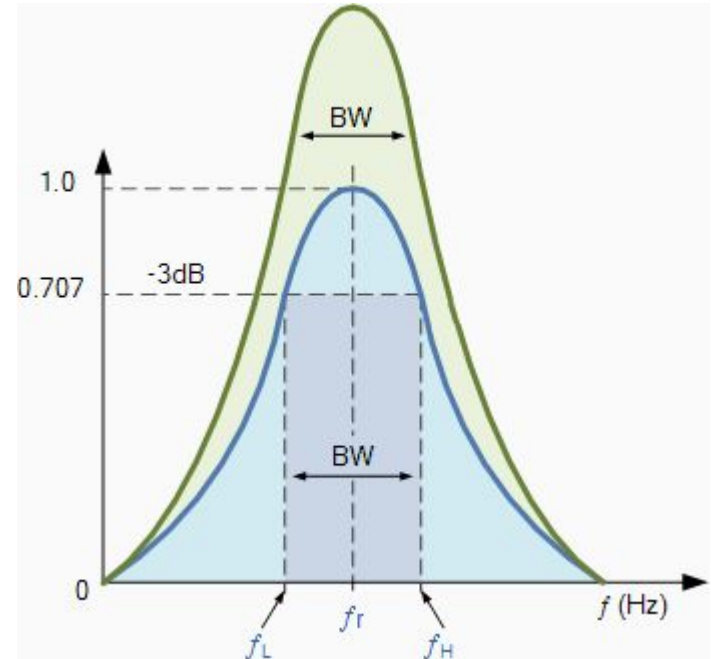


# AMPLE DE BANDA

Una antena, tot i potser tenir una única freqüència de ressonància, presentarà una certa sensibilitat a freqüències properes.

Diem **ample de banda** al rang de freqüències per les quals la potència emesa o rebuda està per sobre de -3dB respecte el màxim.

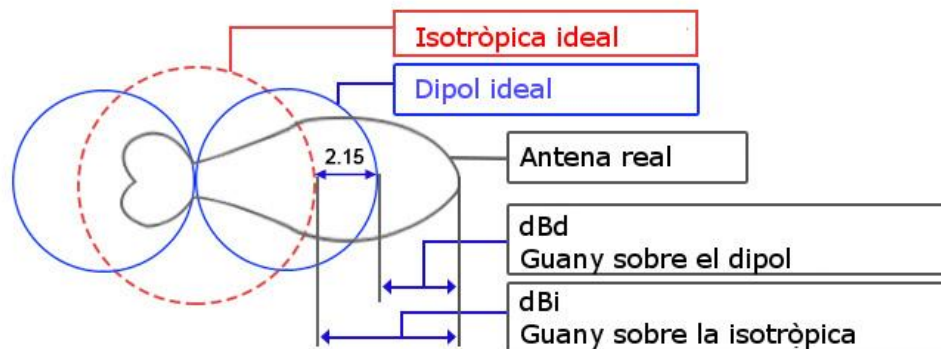
Determinades antenes multi-banda (logarítmiques) fan servir amples de banda sobreposat per produir un gran ample de banda.



# GUANY DE L'ANTENA

Una antena perfecte radiarà tota la potència d'entrada segons un patró de radiació característic, més o menys direccional, amb un feix més o meny ample, etc. Anomenem guany a la **ratio (en dB) de potència en la direcció de màxima radiació respecte una referència** (isotròpica o dipol). Per tant, no és que emeti més potència, si no que la emet “focalitzada”.

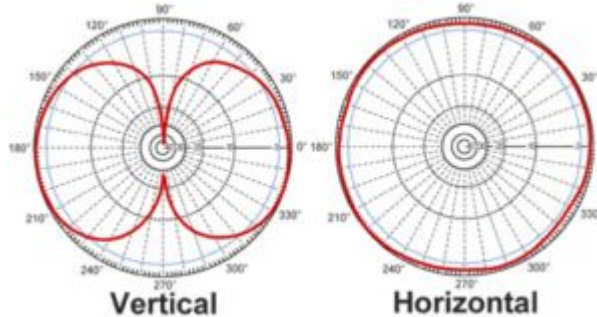
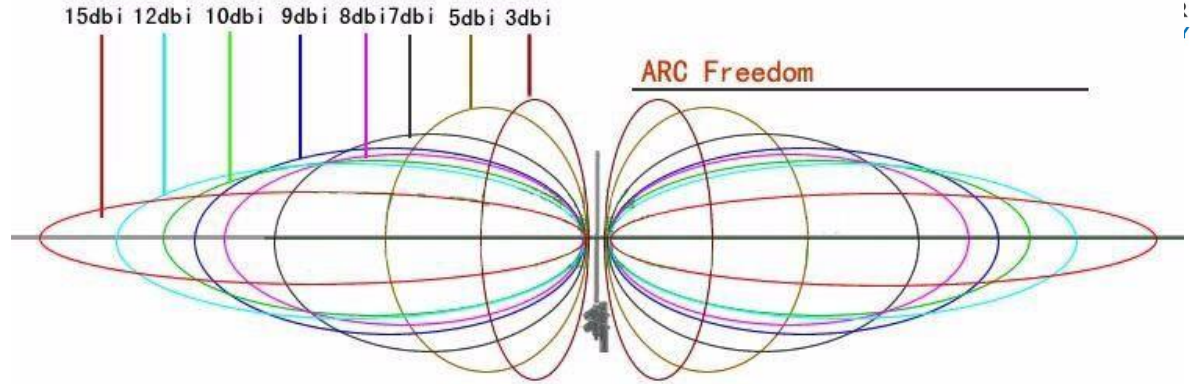
“Una antena no té guany i els reis són els pares”. Fernando Manso.



# DIRECCIONALITAT

El **guany** de l'antena normalment va associat a la **direccionalitat**. A major direccionalitat (menys "omni") més guany en aquella direcció, però més pèrdua en la resta de direccions.

Les antenes direccionals són bones per fer radio-enllaços, però no per oferir un servei de gran cobertura.



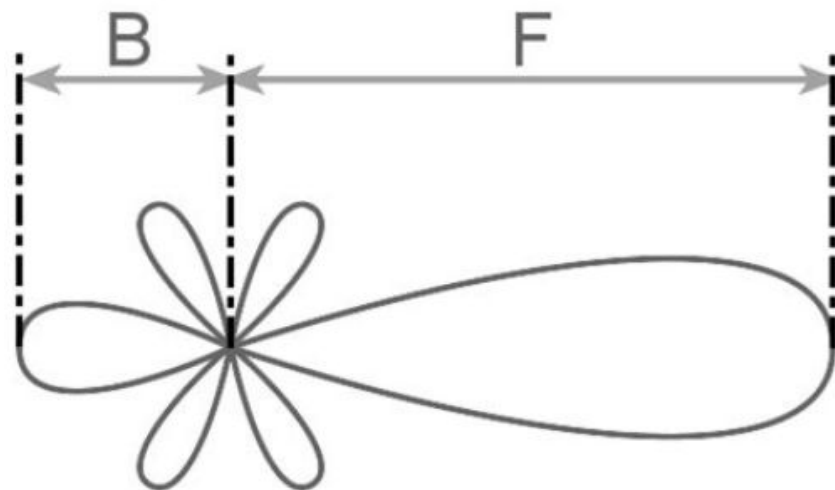
# RELACION DAVANT-DARRERA (F/B)

Una altra manera de “mesurar” la direccionalitat d’una antena és calculant la ratio entre el guany en la direcció principal i en la oposada a la principal.

Per una antena omnidireccional aquesta relació és 0dB.

Una Yagi amb un lòbul frontal de 12dBi i un cap enrera de -2dBi aquesta relació és de:

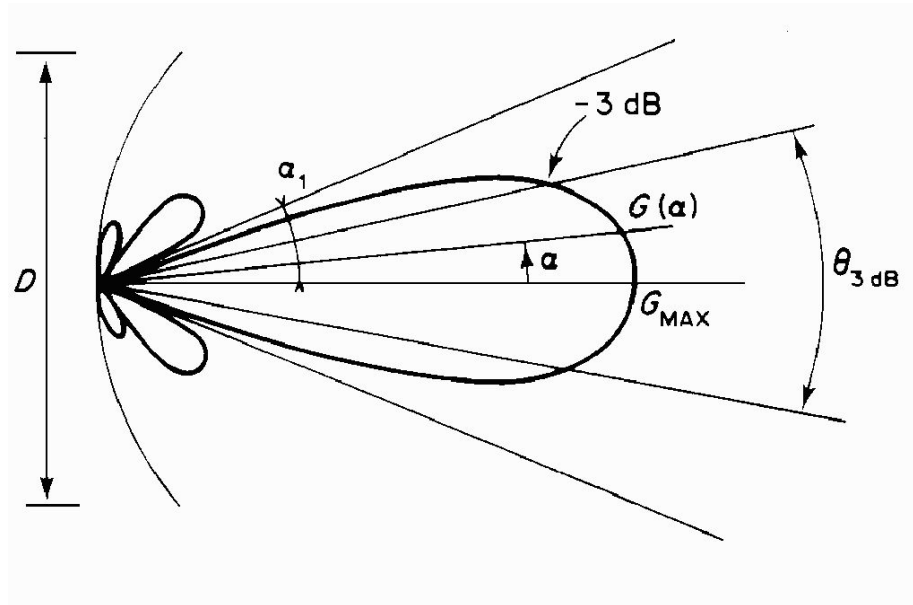
$$F/B = 12 - (-2) = 14\text{dB}$$



# AMPLE DEL FEIX (BEAM WIDTH)

Per una antena direccional, l'ample del feix es mesura sobre el lòbul principal, com aquell angle que cobreix l'ample de banda del feix (tots els punts a -3dB del màxim).

Una antena molt direccional tindrà un ample de feix petit. Una antena isotròpica (ideal) tindrà un ample de feix de  $360^\circ$ , igual que un dipol en el pla normal a l'antena.



# IMPEDÀNCIA



És la resistència (en alterna) de l'antena i ha de ser igual a la dels diferents elements que formen part del **circuit de transmissió del senyal**.

La impedància és funció de la resistència, la capacitància i la inductància d'un circuit. Les dos darreres depenen de la freqüència del senyal de manera inversa. La freqüència de ressonància d'una antena serà aquella en la que la impedància i la capacitància es cancel·lin.

La **impedància característica** d'un conductor (o antena) es el valor d'impedància ( $V/I$ ) d'una línia de longitud infinita o sense reflexió (acabada en una impedància equivalent purament resistiva). Un valor típic és de  **$50\Omega$** . El valor nominal d'un dipol és de  **$73\Omega$** .

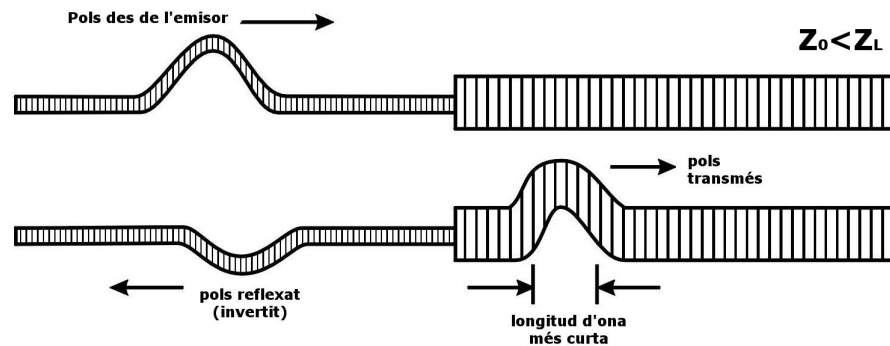
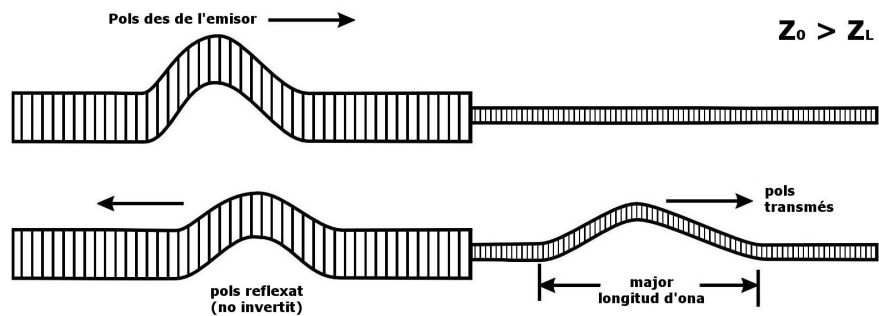
Existeixen formes de “**adaptar**” la impedància del circuit per tal que iguali la de l'antena (com per exemple un adaptador en T o un pont en  $\pi$ ).

# IMPEDÀNCIA





# IMPEDÀNCIA



# COEFICIENT DE REFLEXIÓ



Si la impedància dels elements del circuit i l'antenna no són iguals, la transmissió de potència no serà eficient i fins i tot pot passar que part de la potència de transmissió “**reboti**” en trobar un element de major resistència i podria arribar a fer malbé la circuiteria. Aquesta també és la raó per la qual mai hem de transmetre sense antena (impedància infinita al final de cable vol dir que tota la potència es reflexarà).

Una bona antena no hauria de tenir més d'un 11% (VSWR<2, Voltage Standing Wave Ratio) de reflexió en la seva freqüència de resonància.

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

On  $\Gamma$  (també anomenat  $s_{11}$ ) és el coeficient de reflexió de l'antena, una mesura del % de potència reflexada:

$$P_{REFLEXADA} / P_{TOTAL} = |\Gamma|^2 \quad R(\%) = 100 \cdot |\Gamma|^2 \quad R(\text{dB}) = 20 \cdot \log(|\Gamma|)$$

# POTÈNCIA DE TRANSMISSIÓ

La potència de transmissió està regulada per l'Institut Europeu d'Estàndards de Telecomunicacions (ETSI) a Europa i és diferent en funció de la freqüència. En la banda dels 868MHz aquesta és de 14dBm (25mW). Als USA la FCC ha regulat la banda dels 915MHz i permet potències de fins a 21dBm (126mW). Radio Liberty transmetia a 90dBm (1MW).

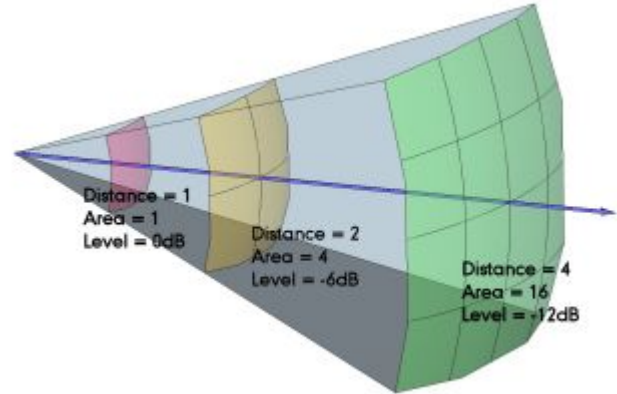


# POTÈNCIA DE TRANSMISSIÓ I DISTÀNCIA

Duplicar la potència de transmissió no duplica la distància a la que podem arribar. La potència transmesa es dissipa per una superfície que és proporcional al quadrat de la distància. En particular saber que per una esfera, la seva superfície és:

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

Per tant, per duplicar la distància hem de multiplicar la potència 4 vegades.



# ATENUACIÓ - PATH LOSS

L'atenuació és la pèrdua de potència degut a la distància o als obstacles en el recorregut d'un senyal de ràdio. Tenim models teòrics per calcular el "path loss" de la transmissió. El model més simple diu que:

$$PL_A(R) = P_0 - 10 \cdot n \cdot \log(R)$$

On  $R$  és la distància,  $P_0$  és la pèrdua a 1m de la font i és -31.2dBm per 868MHz i  $n$  un factor que té en compte l'entorn. És un factor experimental.

En la pràctica, això ens indica que en condicions ideals (sense obstacles) l'atenuació deguda a viatjar per l'aire és de **6dB per duplicar la distància**.

Descripció	n
Espai obert	2.0
Botiga	1.8-2.2
Oficina	2.6-3.0
Fàbrica	3.3
Edifici sense LOS	2.1-4.5
Diferents tipus d'interiors	1.2-6.5

# ATENUACIÓ - OBSTACLES





Diferents materials tenen impactes diferents sobre les ones electromagnètiques en funció de tres paràmetres: tipus de material (composició), densitat i amplada.

La composició afecta de manera diferent en funció de la freqüència de l'ona. La densitat i l'amplada de l'obstacle incrementa linealment l'atenuació.

Objecte / Material	Atenuació (dB)		
	500 MHz	1 GHz	2.4 GHz
Cos humà	2	3	4.2
17cm de maó	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 els connectors entre diferents elements suposen una pèrdua en la potència de transmissió. És particularment important no fer servir cables llargs entre l'element transmissor i l'antena. [https://www.qsl.net/co8tw/Coax\\_Calculator.htm](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

Un valor típic de **pèrdua d'un connector és de  $-0.1\text{dB}$**  (aproximadament un 2%). Els connectors d'alta fidelitat (HF) tenen valors més baixos ( $0.01\text{dB}$ ).



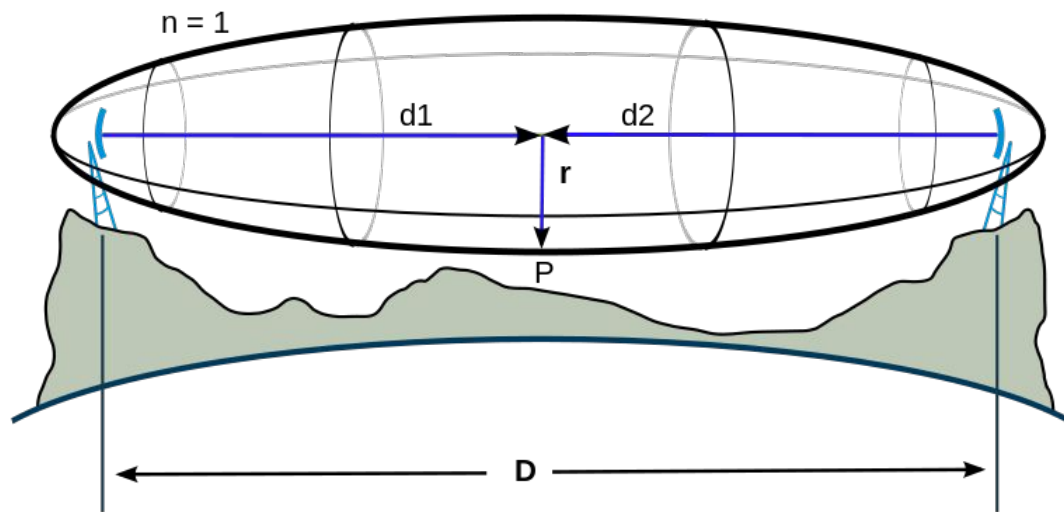


# ZONES DE FRESNEL

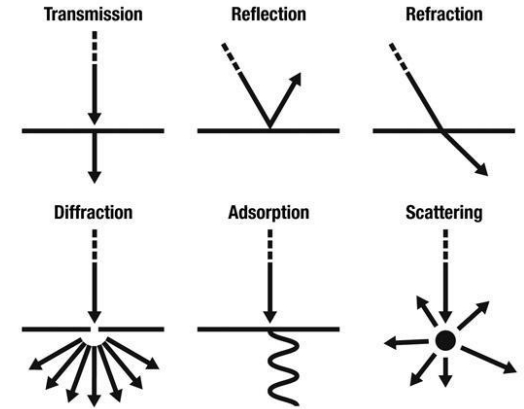
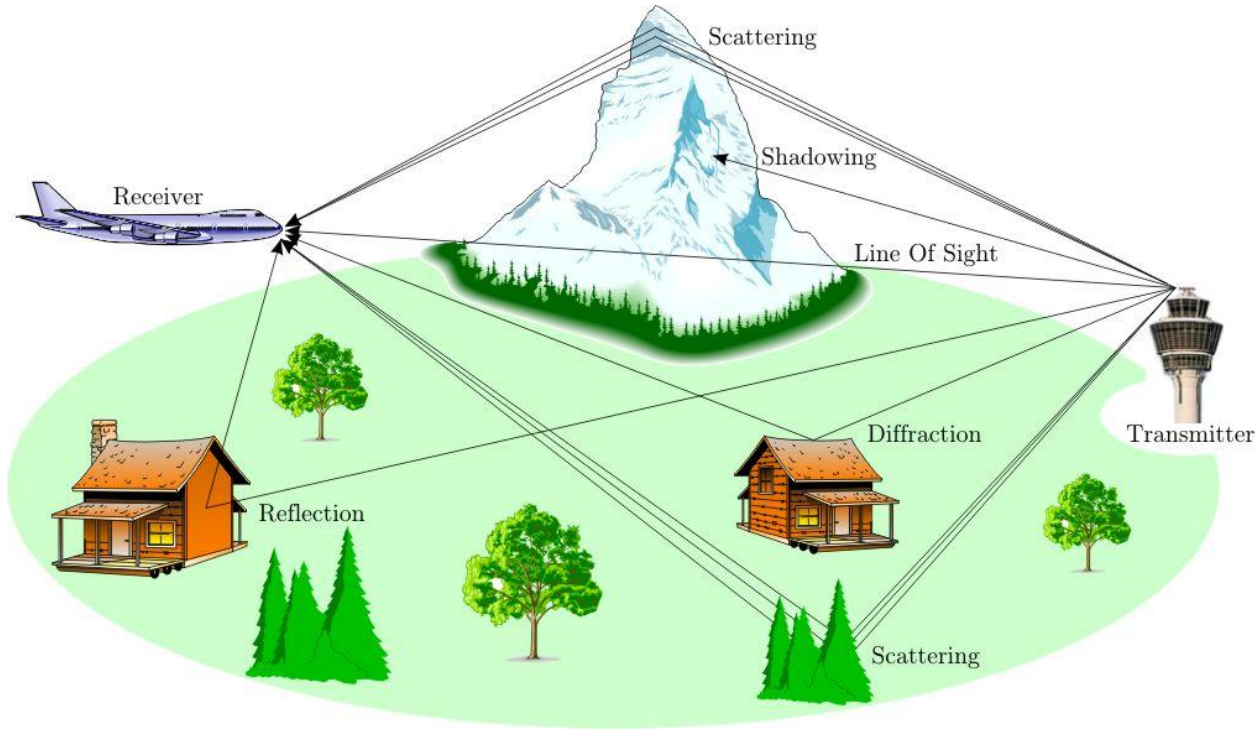
Sovint es parla de la importància de tenir “**línia de visió**” (LOS). Però obstacles “a prop” de la LOS poden influir en l’atenuació del senyal.

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

En general es considera que si el 80% de la primera zona de Fresnel està lliure d’obstacles el trajecte és equivalent espai obert.



# REFLEXIÓ, DIFRACCIÓ, DISPERSIÓ,...



# BALANÇ DE L'ENLLAÇ (LINK BUDGET)

Diem **balanç de l'enllaç** (*link budget*) a la suma dels diferents **guanys** i **pèrdues** que es produeixen en la **transmissió**.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - P_C - P_L - P_V$$

Guanys:

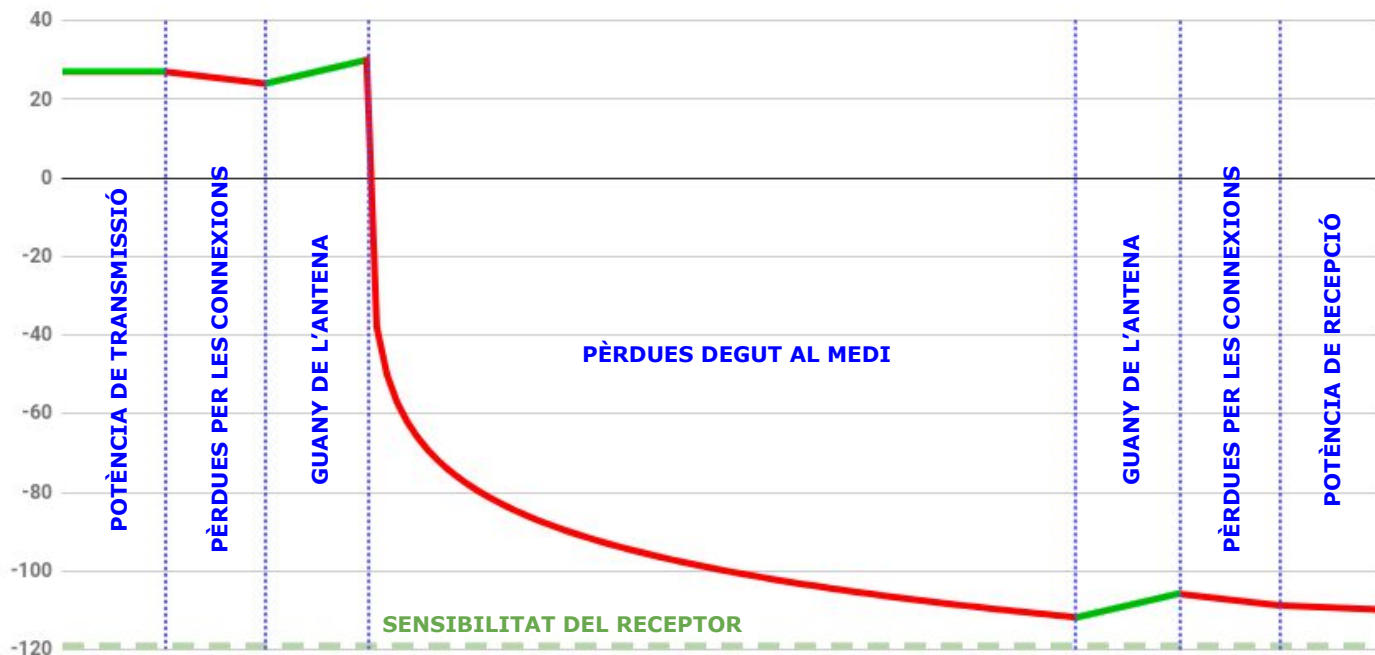
- Antena transmissió
- Antena recepció

Pèrdues:

- Adaptació antenes
- Connectors
- Cables
- Aire
- Obstacles

Si aquest balanç és major que la **sensibilitat del receptor** es podrà produir la recepció.

# BALANÇ DE L'ENLLAÇ (LINK BUDGET)



# BALANÇ DE L'ENLLAÇ (EXEMPLE)



Anem a fer un exemple amb una passarel·la de TTNCat i un node de protipat.

Guany:

- Potència de transmissió: 14dBm
- Sensibilitat *equivalent* del receptor: -137dBm (SF12BW125)
- Guany de l'antenna de l'emisor: 2.15dBi (dipol perfecte)
- Guany de l'antenna de recepció: 4.15dBi (LorixOne outdoor antenna datasheet)

Pèrdues:

- Connector node: -0.1dB
- Connector gateway: -0.1dB
- Constant n d'entorn: 4 (urbà)

# BALANÇ DE L'ENLLAÇ (EXEMPLE)

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - P_C - P_L$$
$$-137 = 14 + 2.15 + 4.15 - 0.2 - P_L$$

$$P_L = 157.1\text{dB}$$

$$P_L = P_0 + 10 \cdot n \cdot \log(R) = -31.2 + 10 \cdot n \cdot \log(R)$$

n	R (km)
4 (urbà)	1.4
3 (rural)	15.7
2 (espai obert, LOS)	1830

# CONSELLS



Passarel·la

- Antena **omnidireccional**, amb guany relativament baix (fins a 5dBi).
- Bona **connexió a terra**, protecció contra descàrregues.
- Situada en **alçada**, lluny de terra o del terrat.
- Lluny d'altres **obstacles**, sobretot metàl·lics.
- Cable el més curt possible (**gateway al màstil**).

Node

- Pensar en la **polarització** de l'antena (orientació).
- Les antenes proporcionades amb nodes de prototipat sovint són de mala qualitat.
- Comprovar que el monopòl tingui un bon pla de terra.

Ambdós

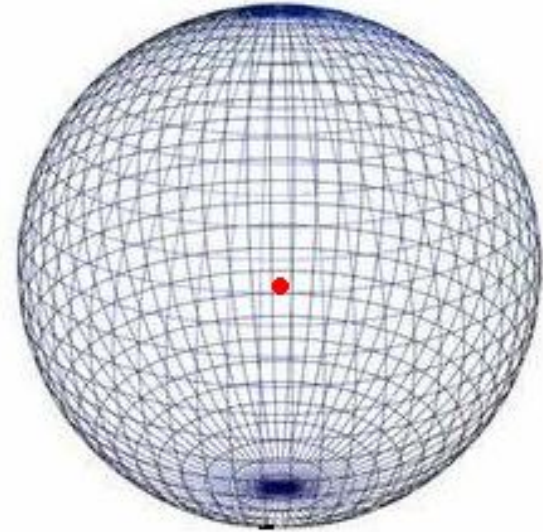
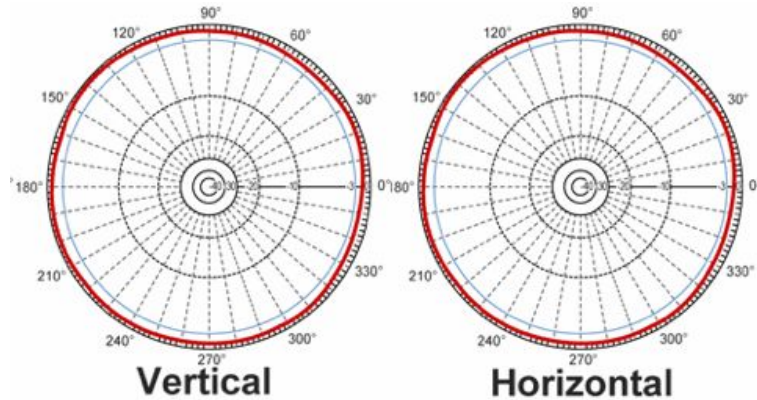
- **Cable coaxial** de qualitat entre la passarel·la i l'antena.
- **Connectors** de bona qualitat i protegits.
- **Impedància** correcte!

ANTENES



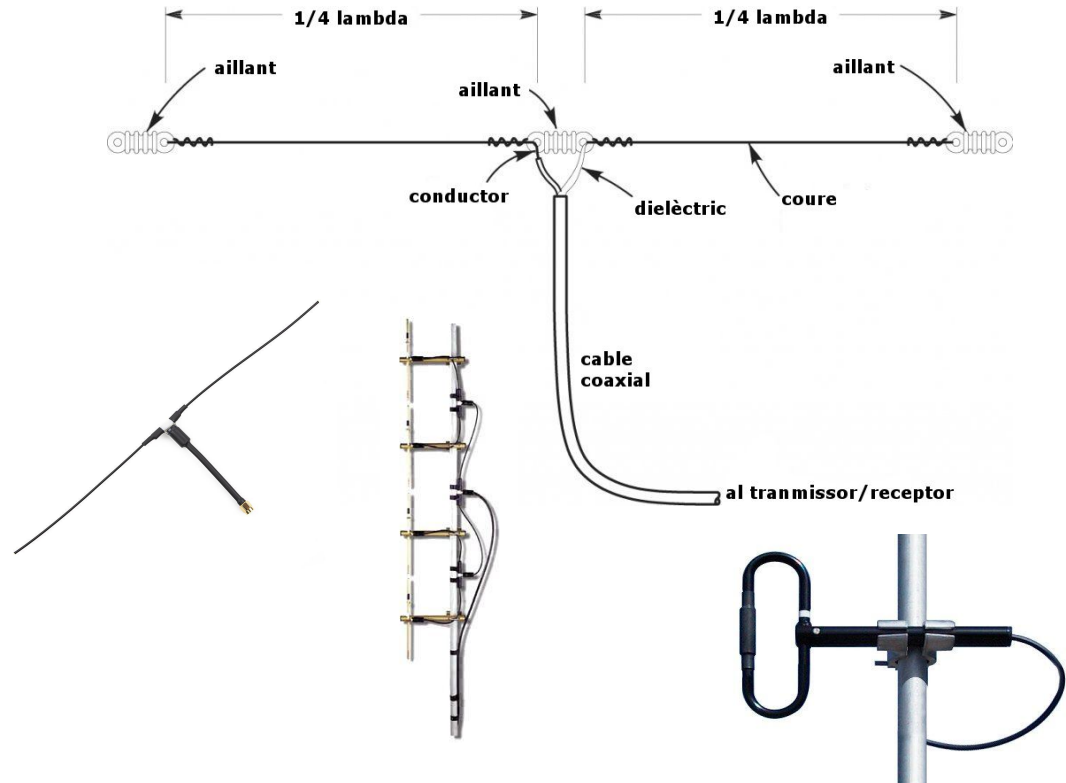
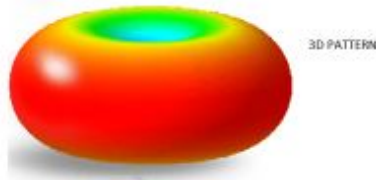
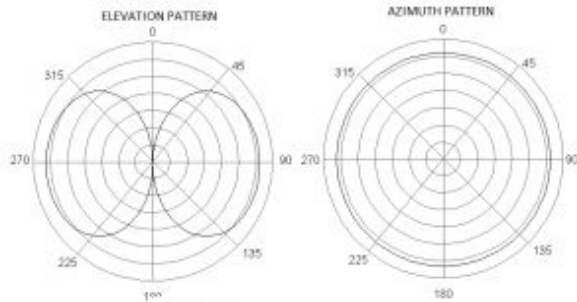
# TIPUS D'ANTENNES - ISOTRÒPICA / IDEAL

Una antena isotròpica és una font electromagnètica ideal que radia la mateixa potència en totes les direccions.



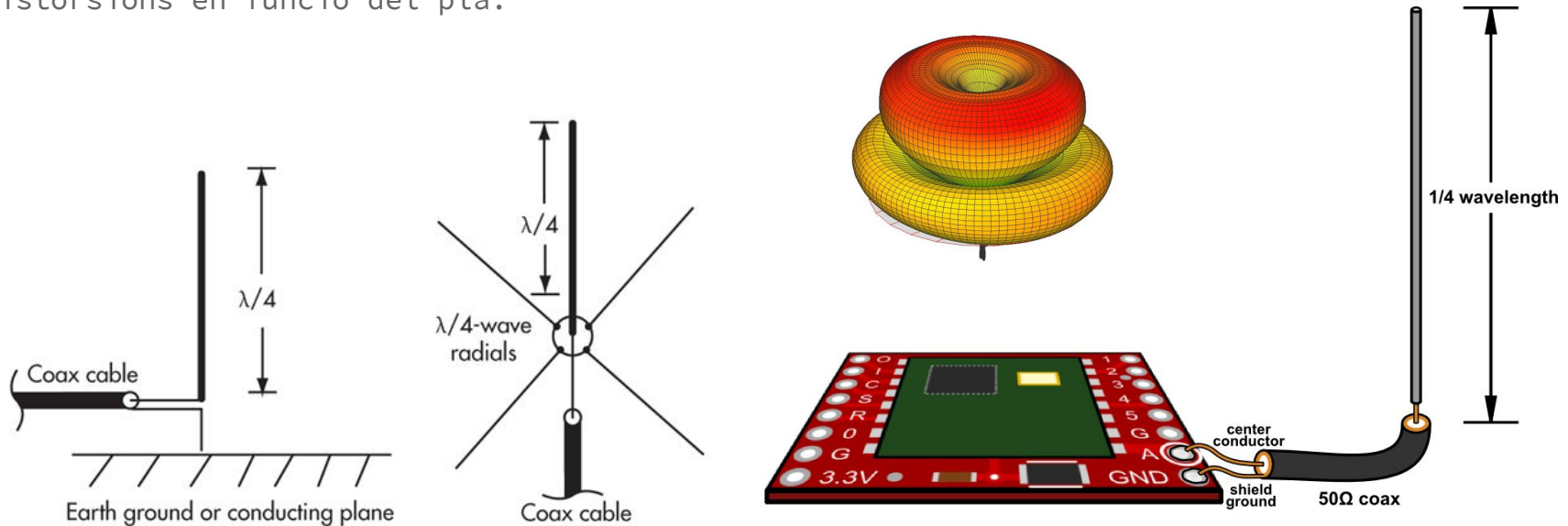
# TIPUS D'ANTENES - DIPOL (OMNIDIRECCIONALS)

El dipol és l'antenna més senzilla. Té un patró de radiació característic d'un donut i un guany en el pla normal a l'antenna de +2.15dBi.

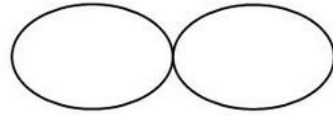
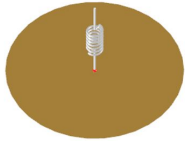
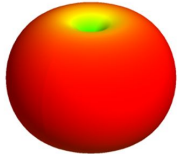
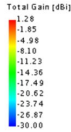


# TIPUS D'ANTENES - MONOPOL

Els monopols són dipòls on es fa servir un element reflexant (terra, planxa metàl·lica, radis metàl·lics...) per substituir el pol no viu. Tenen un patró de radiació ideal de mig donut (tallar en horitzontal) però presenten distorsions en funció del pla.



# TIPUS D'ANTENES - HELICOIDAL



Mode normal

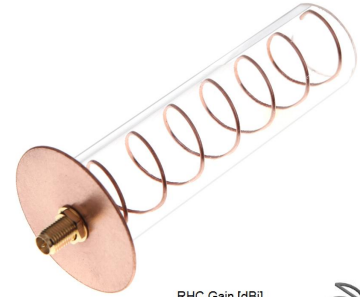
$$D \ll \lambda$$

Antenes Helicoidals

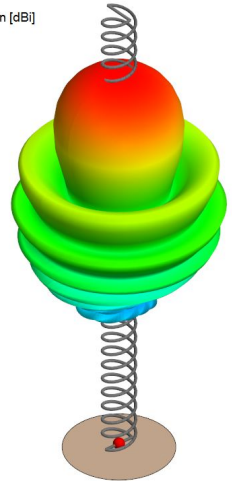
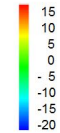


Mode axial

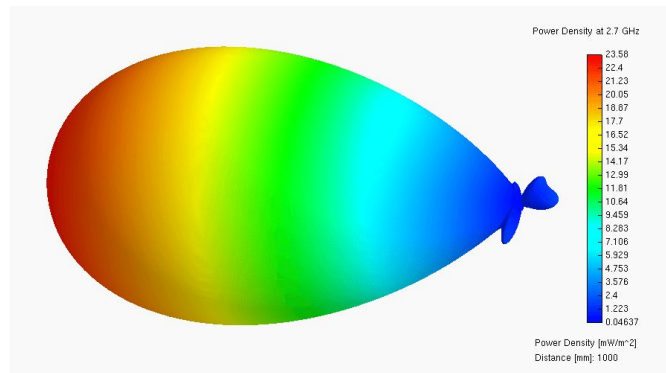
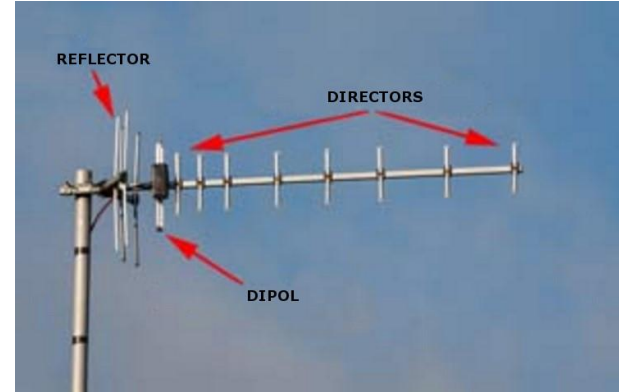
$$C \approx \lambda$$



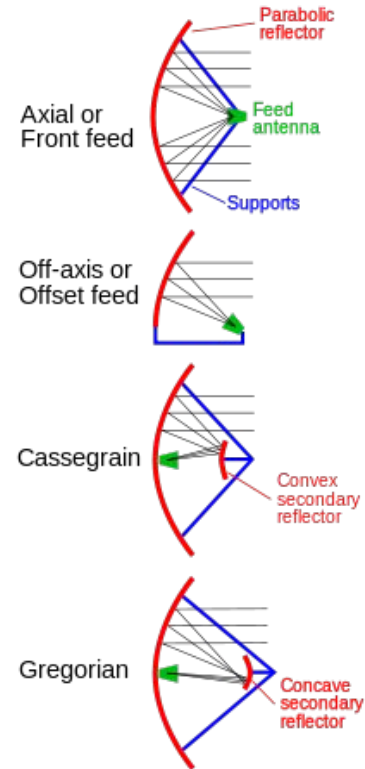
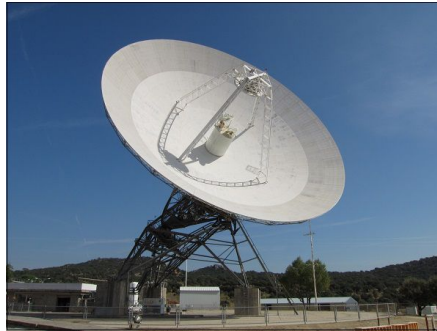
RHC Gain [dBi]



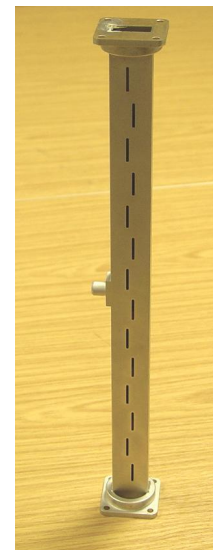
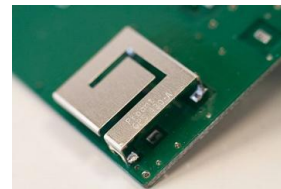
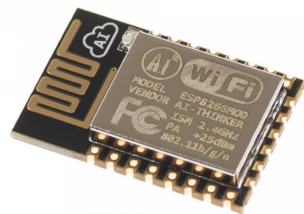
# TIPUS D'ANTENES - YAGI-UDA



# TIPUS D'ANTENES - PARABÒLICA



# TIPUS D'ANTENES - ALTRES



EXEMPLES



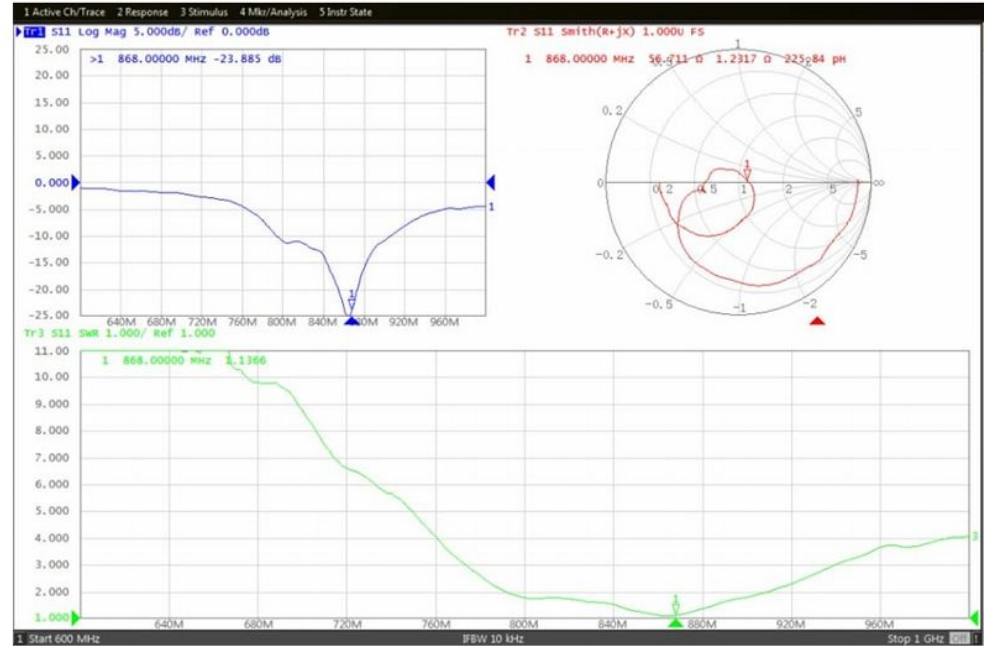
# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL



Glass Fiber Antenna



Frequency : 433/470/868/915MHz  
S.W.R. : <= 2.0  
Antenna Gain : 6 dBi  
Polarization : Linear  
Impedance : 50 Ohm  
Material of Radiator : Cu  
Material of Plastic : Glass Fiber(Body)  
Cable Type : RG 141  
Connector Type : N Male  
Connector Pull Test : >= 5 Kg  
Operation Temperature : - 40 °C ~ + 80 °C  
Storage Temperature : - 40 °C ~ + 80 °C



# TIPUS D'ANTENNES - EXEMPLE COMERCIAL

## GP 868 C

UHF Base Station Antenna 868 MHz ISM service



### DESCRIPTION

UHF colinear Ground Plane antenna suitable for the base station on 868 MHz frequency (ISM service). The main whip and the radials are made of 17/7 PH stainless steel and its base is of chromed brass to get the best robustness. Easy to fit, it is suitable for a handy installation everywhere.

### SPECIFICATIONS

#### Electrical Data

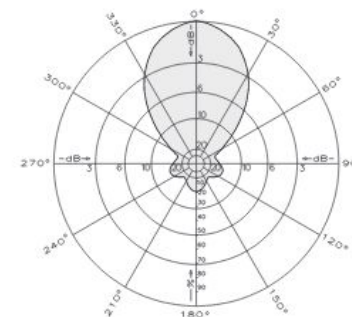
Type	: $1/4 \lambda + 1/2 \lambda$ Colinear
Frequency Range @ SWR $\leq 2$	: 835 - 900 MHz
Impedance	: 50 $\Omega$
Polarization	: Linear Vertical
Max Gain	: 3 dBd, 5.14 dBi
Beamwidth Horizontal	: 360° omnidirectional
SWR @ res. freq.	: $\leq 1.2$
Max Power	: 50 Watts (CW) @ 30° C
Connector type	: N-female, gold plated central pin

#### Mechanical Data

Housing Materials	: Stainless Steel, Aluminium, Chromed Brass
Wind Load / Resistance	: 13N @ 150 Km/h / 180 Km/h
Wind Surface	: 0.015 m <sup>2</sup>
Height (approx.)	: 600 mm
Weight (approx.)	: 700 gr
Radial Length (approx.)	: 90 mm
Operating Temperature	: -40° C to 80° C
Mounting Mast	: $\varnothing$ 35-54 mm

# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL

Specifications	
Frequency range	Any specified FM channel 88 to 108 MHz
Gain	6 dBd
Power gain	3.98
Impedance	50 ohms
VSWR	<1.5:1
Polarization	Circular
Front-to-back ratio	>14 dB
Maximum input power	250 watts
H-plane beamwidth	61 degrees (half-power)
E-plane beamwidth	61 degrees (half-power)
Connector	N female
Weight	35 lb (15.9 kg)
Dimensions	79 x 56 x 50.8 inches maximum (2007 x 1422 x 1290 mm)
Wind load at 100 mph (161 kph)	
Front	98 lbf (436 N)
Wind survival rating*	120 mph (193 kph)
Shipping dimensions	84 x 13 x 8 inches (2134 x 330 x 203 mm)
Shipping weight	38 lb (17.2 kg)
Mounting	For masts of 2.375 inch (60 mm) OD.



Azimuth pattern (E-plane)

\*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in TIA-222-G-2 (December 2009) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.

# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL



Specifications	
Centre Frequency	169 MHz
Polarisation	Linear
VSWR	<1.3:1
Gain	0 dBi
Impedance	50 Ohm
Power Rating	1W
Cable / Connector	SMA-Male Plug
Radiating Element	Multi-Wire
Element Cover	Heat Shrink Tubing
Cap	PVC (Black)
Base	ABS (Black)
Dimensions	353x14.3mm (lxd) incl. connector

# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL



## Features

- ♦ VHF Helical Antenna
- ♦ Moulded Sheath
- ♦ Groundplane dependent
- ♦ Suitable for metering applications

Specifications	
Frequency range	169 MHz
Polarisation	Linear
VSWR	<1.5:1
Power rating	10W
Connector	SMA-Male
Dimensions	140 x 13.5mm (hxd)

Popular Ordering Options	
H169-SMA	H169-SMA antenna with SMA-Male connector

# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL



## Electrical

Frequency	30-88 MHz	112-512 MHz	420-450 MHz
Gain (typical)	-3 dBi	-3 dBi	0 dBi
Isolation	$\geq 18$ dB	$\geq 18$ dB	$\geq 20$ dB
VSWR	2.0:1 typical	2.0:1 typical	1.8:1 (typical)
Impedance	50 ohms	50 ohms	50 ohms
Power	100 W (CW) average	100 W (CW) average	100 W (CW) average
Polarization	Vertical	Vertical	Vertical
Pattern			
Azimuth	Omnidirectional	Omnidirectional	Omnidirectional
Elevation	Figure eight	Figure eight	Figure eight

# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL



Specifications	
Frequency range	2.4-2.5 / 4.9-5.9 GHz
Peak Gain	3.0 / 4.2 dBi
Polarisation	Linear
Impedance	50 Ohm
VSWR	<1.6:1
Power rating	1W
Cable / Connector	100mm cable - U.FL, SMA, TS9, CRC, FME
Dimensions	49 x 20 x 0.2mm

# TIPUS D'ANTENES - EXEMPLE COMERCIAL



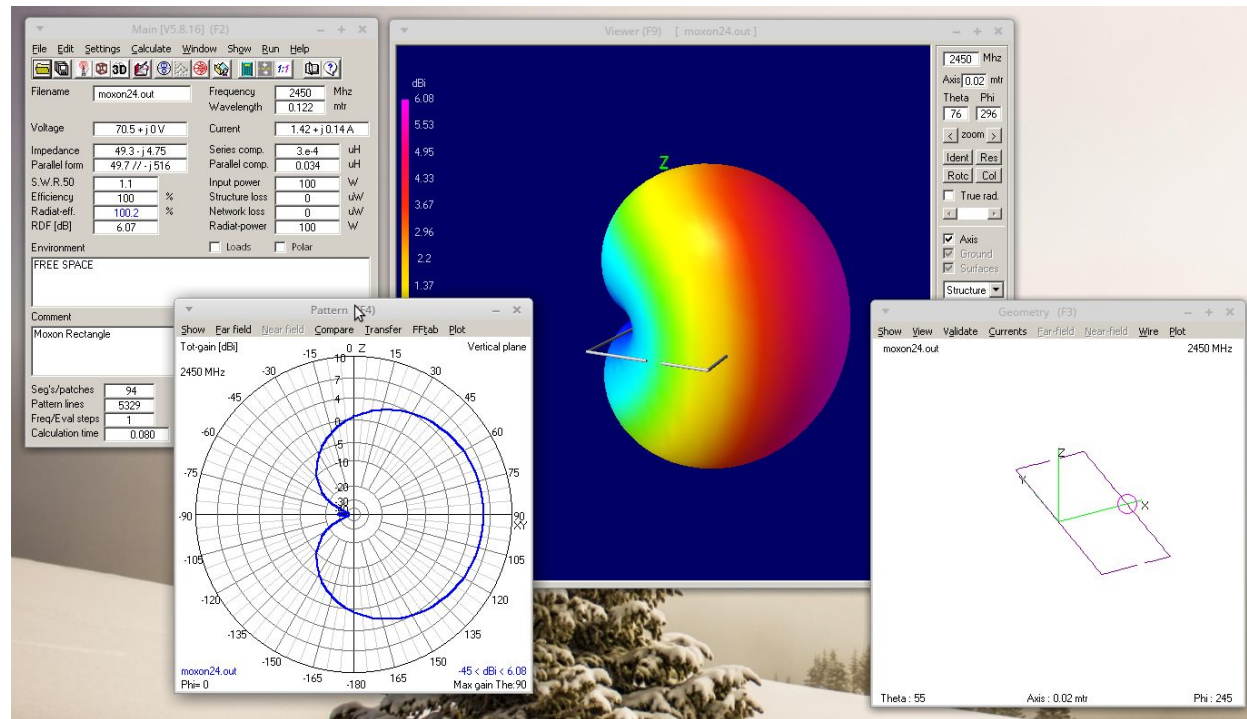
Specifications	
Frequency range	1575.42 MHz/1602MHz
Element VSWR	<1.5:1
Polarisation	RHCP
Output Impedance	50 Ohm
Gain @ Zenith	4.0 dB (typical)
LNA Gain	27 dB (typical)
Noise Figure	1.0dB typical (2.0 max.)
LNA VSWR	2.0:1 Max @ Centre Freq.
Input Voltage	2.5-5.0V DC
Power Consumption	30 mA (max)
Cable / Connector	3M RG174 and SMA-Male
Dimensions	45 x 45 x 14.6mm



EINES

# EINES - SIMULADOR D'ANTENES (4NEC2)

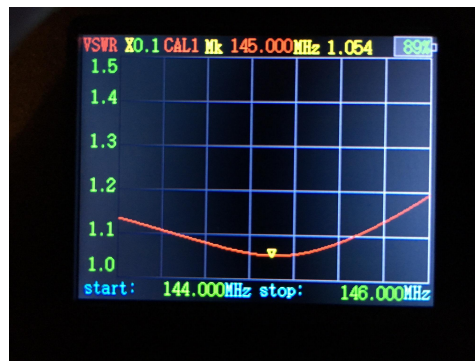
Eina *freeware* de disseny d'antenes. Permet definir les característiques, generar patrons de radiació teòrics i optimitzar-los en funció d'infinat de variables.



# EINES - ANALITZADORS D'ANTENES (N1201SA)

També dins del rang d'eines de baix cost es poden trobar analitzadors d'antenes que proporcionen resultats asombrosament semblants a equipament tipus NVA 100 vegades més cars, com per exemple el N1201SA.

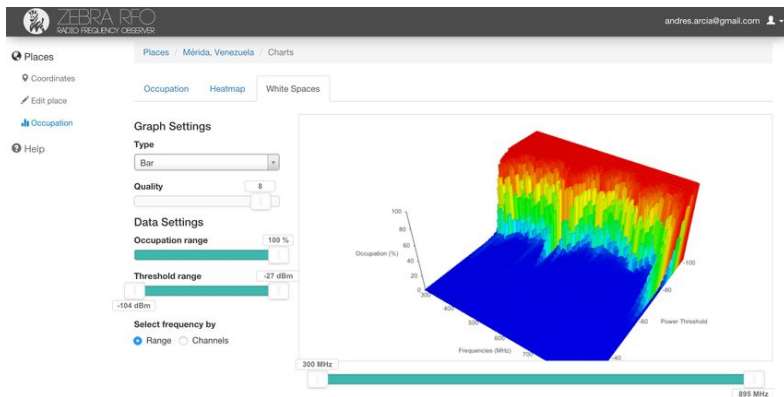
Aquests dispositius funcionen prou bé per no ser professionals, tot i que es recomana disposar d'atenuadors i filtres passa-banda.



# EINES - ANALITZADOR D'ESPECTRE (RF EXPLORER)

N'hi ha de molt professionals, però també d'assequibles que, si bé limitats, poden proporcionar informació molt útil.

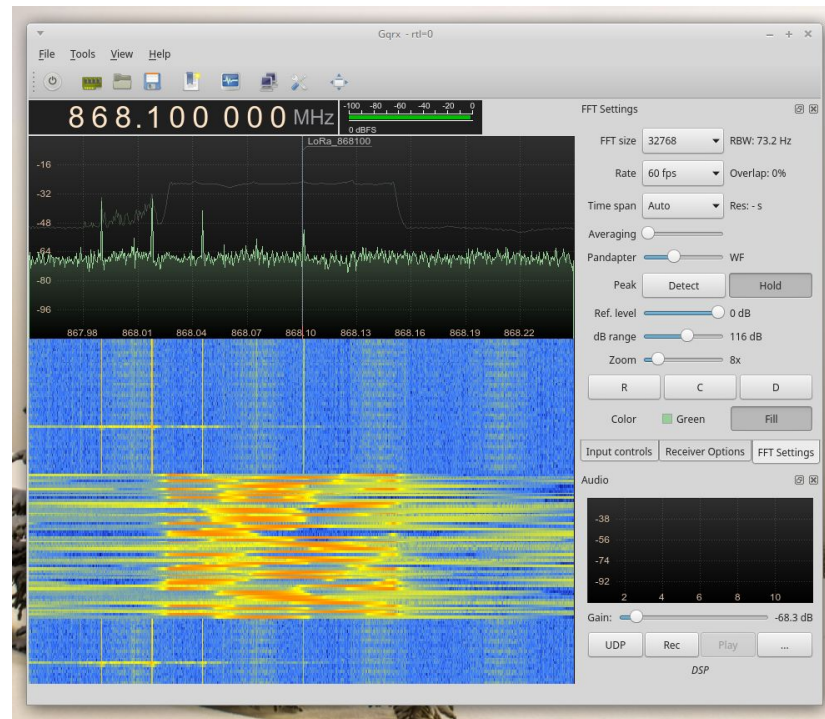
Es fa servir a nivell acadèmic per analitzar ocupació i col·lisions.



# EINES - ANALITZADOR D'ESPECTRE (GQRX)

Eina *open source* per radio definida per software (SDR en anglès). Funciona amb diferents dispositius, alguns dels quals valen només uns 15€, altres més de 1000€.

També permet enregistrar l'espectre en un fitxer o descodificar determinades senyals (AM, FM).



DISPOSITIUS (DEVICES)

# TIPUS DE DISPOSITIUS (DEVICE CLASSES)



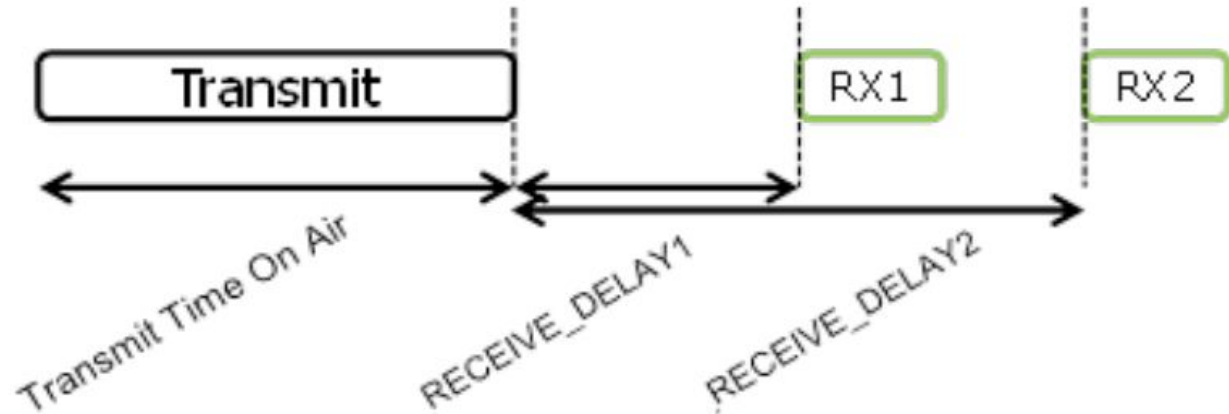
Tres tipus de dispositius:

- **Classe A:** Tenen una comunicació bidireccional parcial, donat que només poden rebre dades de la Gateway quan han enviat prèviament un paquet. Aquesta classe és la que menys energia necessita, els dispositius estan normalment dormint.
- **Classe B:** Aquesta classe de dispositius estan **sincronitzats** amb la Gateway corresponent de manera que poden rebre paquets de dades des de la Gateway a certs intervals sense la necessitat d'haver enviat un paquet prèviament.
- **Classe C:** Els dispositius d'aquesta classe estan permanentment en disposició de rebre paquets des de la Gateway (sempre que no estigui enviant). Aquesta classe és la que més energia consumeix.

# TIPUS DE DISPOSITIUS (DEVICE CLASSES)

Classe A:

- El dispositiu envia quan vol (seguint regles ISM)
- La passarel·la només pot enviar dades al dispositiu com a resposta a un missatge d'aquest
- Màxim estalvi energètic
- No és temps real

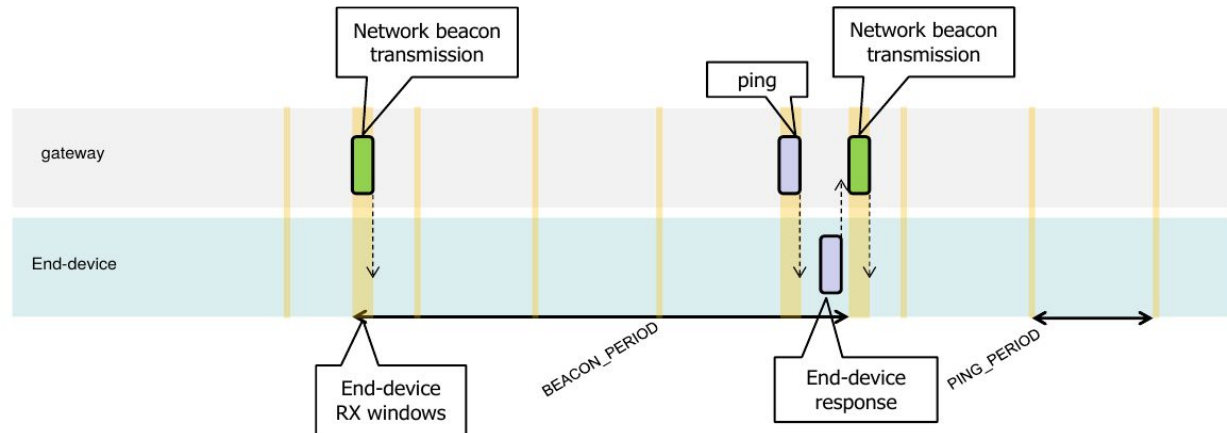




# TIPUS DE DISPOSITIUS (DEVICE CLASSES)

Classe B:

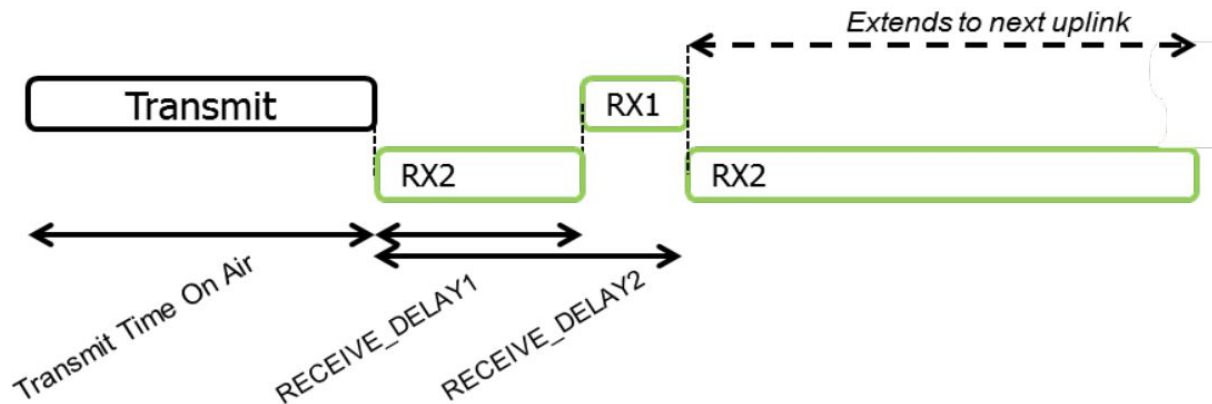
- La passarel·la té ocasions per enviar missatges als dispositius
- Prèviament es negocia un període entre missatges (beacons)
- Multicast o unicast
- No implementada



# TIPUS DE DISPOSITIUS (DEVICE CLASSES)

Classe C:

- El dispositiu sempre escoltant
- La passarel·la sempre pot enviar missatges al dispositiu
- És el més costós energèticament parlant
- És temps real
- Multicast o unicast



# TRANSFERÈNCIA DE DADES ADAPTATIVA (ADR)



La xarxa s'autogestiona per optimitzar consum i congestió:

- Si ADR està activat, la xarxa ajusta el **SF** i **potència TX** del dispositiu:
  - Si bona cobertura → Disminueix SF (més ràpid, menys consum, menys rang)
  - Si mala cobertura → Augmenta SF (més lent, més consum, més rang)
- Millora el funcionament de la xarxa
  - Reduint el temps en aire → **menys col·lisions**
  - Reduint els dispositius que una passarel·la ha de gestionar → **més capacitat**

Pot haver-hi **situacions on no es recomana ADR**:

- Dispositius mòbils
- Dispositius amb entorn molt variable

# CICLE DE TREBALL (DUTY CYCLE)



Regulació de la banda 868 MHz (ETSI):

- Ocupació de l'1% del temps
- 1% de 3600 segons → 36 segons per hora
- Mòduls ràdio fan càlcul automàtic i no permeten sobre-passar-lo

A més, TTN imposta més restricció (**Fair Access Policy**):

- Enviar: 30 segons cada 24 hores (uplink)
- Rebre: 10 missatges cada 24 hores (downlink)

# SEGURETAT (ENCRYPTION)

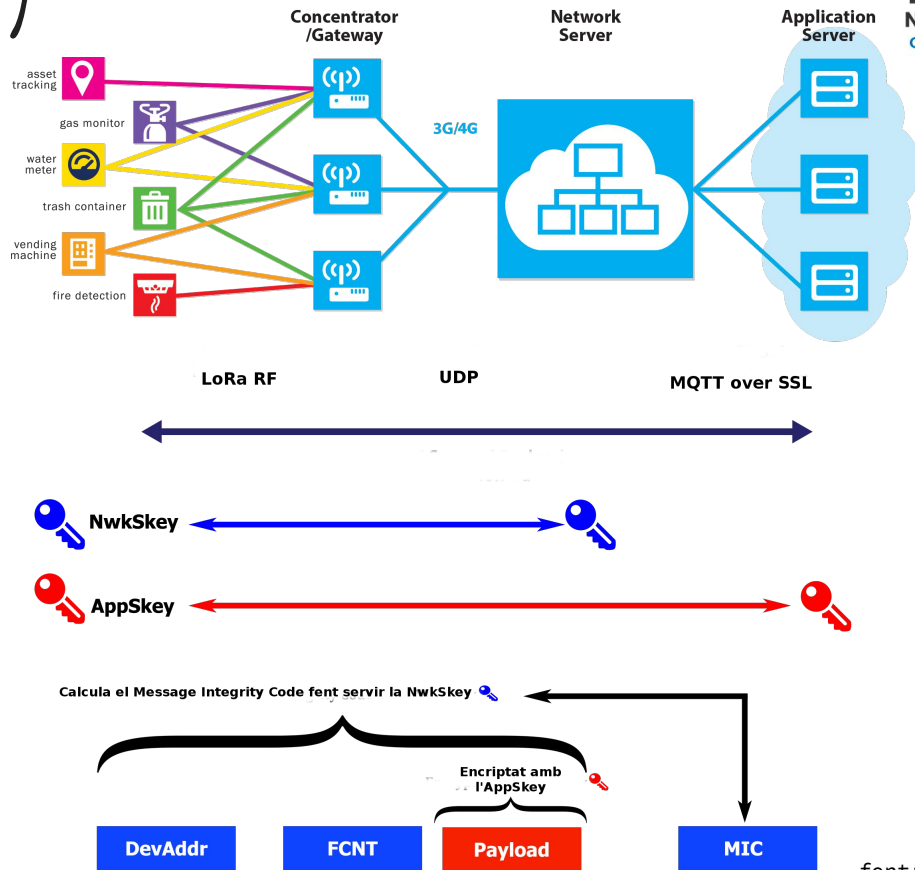


Les dades del sensor (**payload**) estan encriptades amb l'AppSkey (AES128).

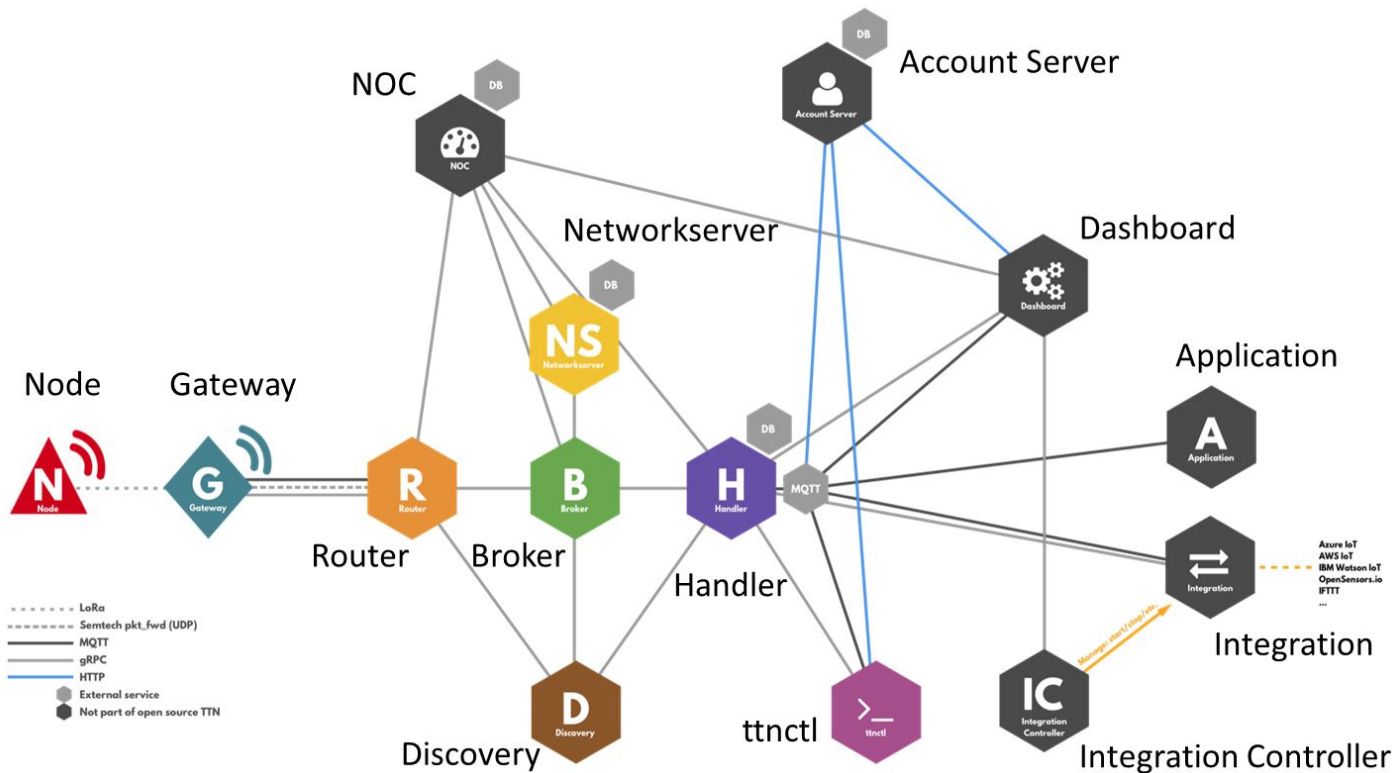
El missatge està signat amb el MIC (**codi d'integritat del missatge**), que es calcula amb el payload, el devaddr, el fcnt i fent servir la NwkSkey.

La xarxa "no pot saber" què s'està enviant, només l'aplicació.

TTN permet descodificar el missatge en el backend, per tant es recomana fer servir un *handler* segur per connectar-se (MQTT sobre SSL).



# ARQUITECTURA TTN



# ACTIVACIÓ (ABP/OTAA)



Cal estar dins la xarxa → cada dispositiu necessita:

- una adreça (DevAddr)
- clau de xarxa (NwkSKey)
- clau d'aplicació (AppSKey)

Dos mètodes d'afegir un dispositiu a la xarxa:

- ABP: Cada dispositiu porta les claus pre-programades
- OTAA: Es negocien cada cop que el dispositiu es connecta

# ACTIVACIÓ (ABP/OTAA)



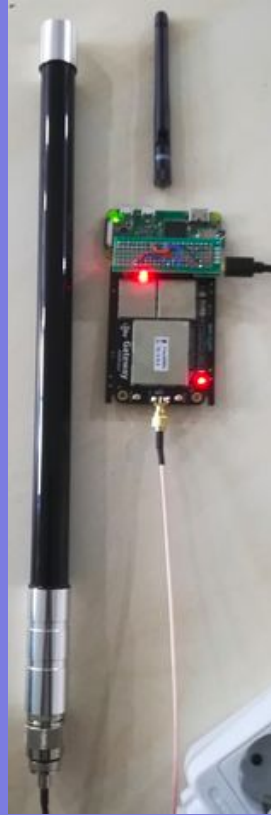
En Over-the-Air Activation (OTAA) el dispositiu té:

- un identificador únic global (DevEUI)
- una clau d'aplicació (AppEUI)
- una clau pròpia (AppKey)

I al connectar-se (fer un *join*) es negocien el DevAddr, NwkSKey i AppSKey que seran exclusius per aquell dispositiu durant aquella sessió.

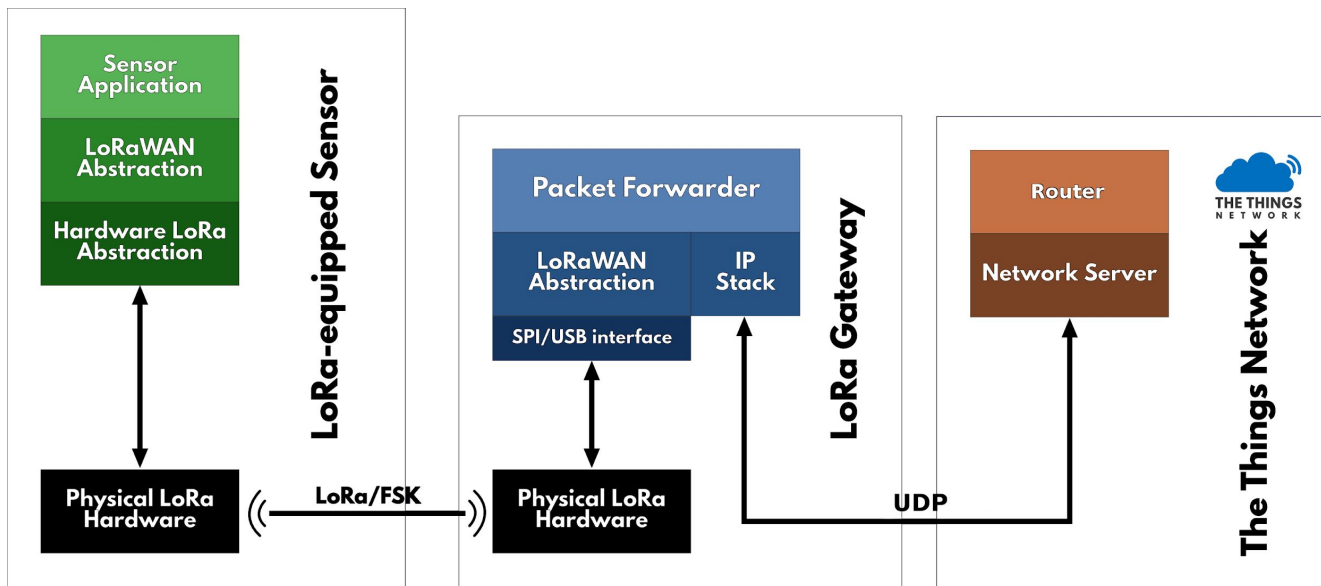


# PASSAREL·LA (GATEWAY)



# CONCEPTES

- Dispositiu que rep els paquets de ràdio i els envia a backend TTN (o d'altres)
- GW son “tontes”, no hi ha cap intel·ligència dins, simplement redirigeixen les dades de la ràdio cap al backend i a l'inrevés



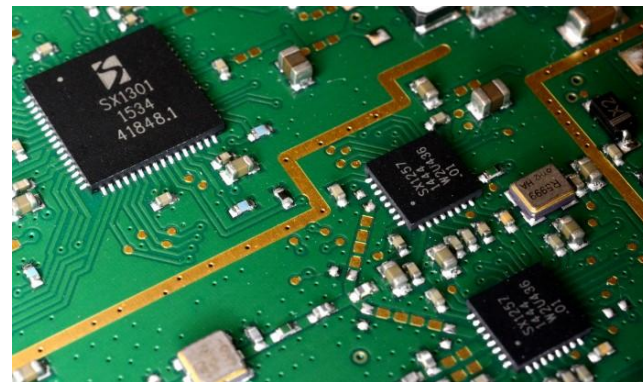
# ARQUITECTURA DE LA PASSAREL·LA (MAQUINARI)

Els components bàsics d'una passarel·la són:

- Antenna omnidireccional (excepte casos concrets)
- Concentrador (mòdul de ràdio amb capacitat per escoltar en paral·lel diferents canals)
- Controlador (microcontrolador o CPU basada en ARM habitualment)
- Alimentació (PoE)

El concentrador acostuma a tenir:

- 2x SX1257 (radio frontends)
- 1x SX1301 (demodulador, interfície SPI)



# ARQUITECTURA DE LA PASSAREL·LA (PROGRAMARI)



- Linux sobre miniordinador (a vegades també un simple microcontrolador com l'ESP32)
- Driver simple pel xip SX1301
- SW per llegir paquets rebuts i enviar a *backend*
  - Semtech: packet-forwarder
    - Basat en UDP
    - “Poca seguretat“
    - Simple
  - TTN packet-forwarder
    - Basat en *protocol buffer* o MQTTS
    - Més segur (TLS, SSL)
    - Complex -> Fase Beta i Suspès

# CONFIGURACIÓ D'UNA PASSAREL·LA (LORIXONE)



- Les passarel·les LorixOne duen un sistema operatiu GNU/Linux molt comú als sistemes encastats:

**OpenWrt**  
**Wireless Freedom**

- Hi ha dues opcions d'accés:
  - Mitjançant el microUSB
  - Mitjançant el cable de xarxa Ethernet

# CONFIGURACIÓ D'UNA PASSAREL·LA (LORIXONE)



- Per defecte l'assignació de la IP és dinàmica. Per saber-ne la IP sense accés al servidor DHCP:

```
jordi@ecat-debian:~$ sudo nmap -sP174.105.0.0/24 | awk '/^Nmap/{ip=$NF}/FC:C2:3D/{print ip}'  
174.105.0.81
```

**174.105.0.0/24** : Adreça de la xarxa en notació CIDR

**FC:C2:3D** : Tres primers bytes de l'adreça MAC

**174.105.0.81** : La IP trobada

# CONFIGURACIÓ D'UNA PASSARELLA (LORIXONE)



- Aspecte del terminal a l'accedir al SO OpenWRT present al Lorix. Mitjançant un client SSH (per Windows el putty és molt popular).

```
ssh -o ServerAliveInterval=60 admin@174.105.0.81
```

```
admin  
Password: lorix4u
```

```
LoRiXone
```

---

LoRa gateway	<a href="http://www.lorixone.io">www.lorixone.io</a>
Wiki	<a href="http://www.lorixone.io/wiki">www.lorixone.io/wiki</a>
Quick start	<a href="http://www.lorixone.io/wiki/quickstart">www.lorixone.io/wiki/quickstart</a>
Troubleshooting	<a href="http://www.lorixone.io/wiki/troubleshooting">www.lorixone.io/wiki/troubleshooting</a>
Changelog	<a href="http://www.lorixone.io/wiki/changelog">www.lorixone.io/wiki/changelog</a>
Versions	<a href="http://www.lorixone.io/wiki/versions">www.lorixone.io/wiki/versions</a>

---

```
sama5d4-lorix-one-512:~$
```

# CONFIGURACIÓ D'UNA PASSAREL·LA (LORIXONE)



- Arxiu de configuració. Heu d'identificar la vostra passarel·la, introduir la geolocalització i un correu-e.

```
sama5d4-lorix-one-512:~$ cat /opt/lorix/clouds/ttn/local_conf.json
{
  /* Put these parameters that are different for each gateway (eg. pointing one gateway to a test server while
  the others stay in production) */
  /* Settings defined in global_conf will be overwritten by those in local_conf */
  "gateway_conf": {
    "gateway_ID": "fcc23dFFFE1a76c3",
    "servers": [
      {
        "server_address": "router.eu.thethings.network",
        "serv_port_up": 1700,
        "serv_port_down": 1700,
        "serv_enabled": true
      }
    ],
    "fake_gps": false,
    "ref_latitude": 10,
    "ref_longitude": 20,
    "ref_altitude": -1,
    "contact_email": "operator@gateway.tst",
    "description": "Wifx LORIX One gateway"
  }
}
```



# CONFIGURACIÓ D'UNA PASSAREL·LA (LORIXONE)



- Configuració per adjuntar LorixOne a TheThingsNetwork

```
ttn-siarq-0001:~$ /etc/init.d/clouds-manager.sh configure
```

```
=====
| LORIX One clouds manager configuration |
=====
```

```
Actual configuration:
```

```
  autostart=true
  cloud=loriot
```

```
Do you want to enable autostart at boot time?
```

```
[Yes|No]
```

```
> Yes
```

```
Which cloud app. do you want to use ?
```

```
[loriot|packet-forwarder|ttn>manual]
```

```
> ttn
```

```
New configuration:
```

```
  autostart=true
  cloud=ttn
```

# CONFIGURACIÓ D'UNA PASSARELLA (LORIXONE)

- Seqüència d'ordres per a configurar LorixOne :

```
sama5d4-lorix-one-512:~$ history
 1 echo lorix4u | sudo -Sv
 2 cat /sys/bus/i2c/devices/4-0060/product_type
 3 cat /sys/bus/i2c/devices/4-0060/hw_version
 4 cat /sys/bus/i2c/devices/4-0060/fw_version
 5 dmesg | grep ' nand: ' --color=never
 6 cat /sys/class/net/eth0/address
 7 sudo /etc/init.d/clouds-manager.sh stop
 8 sudo /etc/init.d/reset-lgw restart
 9 echo lorix4u | sudo -Sv
10 cd /opt/lorix/utills
11 sudo ./util_tx_test -r 1257 -f 867.10 -k 1 -m LORA -b 125 -s 7 -c 1 -p 0 -l 8 -z 16 -t 1000
12 echo lorix4u | sudo -Sv
13 cd /opt/lorix/utills
14 sudo ./util_tx_test -r 1257 -f 868.10 -k 1 -m LORA -b 125 -s 7 -c 1 -p 0 -l 8 -z 16 -t 1000
15 cat /opt/lorix/clouds/ttn/local_conf.json
16 sudo nano /etc/hostname
17 cat /etc/hostname
18 history
```

# ALTA DE LA PASSAREL·LA

- Donar d'alta a sistema TTN l'identificador de la GW
  - Gateway EUI -> cada fabricant el proporciona de forma diferent
- Seleccionar a quina regió es connecta
- Afegir
  - Dades de contacte
  - Localització
  - Administradors
  - ...

**REGISTER GATEWAY**

**Gateway EUI**  
The EUI of the gateway as read from the LoRa module

0 bytes

Gateway EUI must consist of exactly 8 bytes

I'm using the legacy packet forwarder  
Select this if you are using the legacy [Semtech packet forwarder](#).

**Description**  
A human-readable description of the gateway

**Frequency Plan**

The [frequency plan](#) this gateway will use

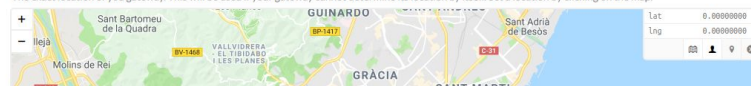
no selection

**Router**

The router this gateway will connect to. To reduce latency, pick a router that is in a region which is close to the location of the gateway.

**Location**

The exact location of you gateway. This will be used if your gateway cannot determine its location by itself. Set a location by clicking on the map.



# PASSAREL·LES A TTN



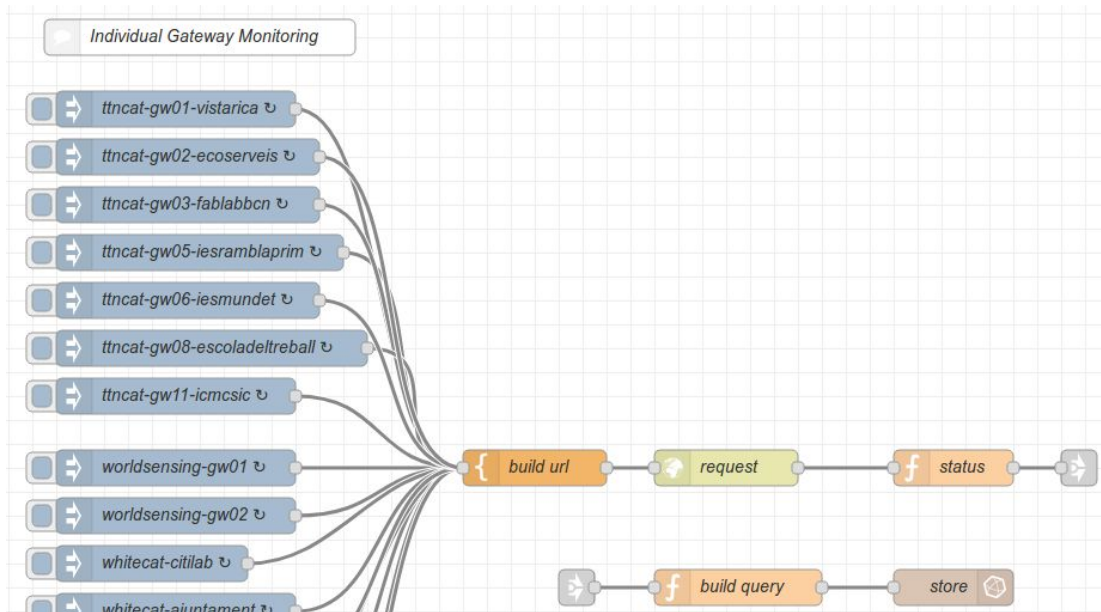
## Gateways

### GATEWAYS

[+ register gateway](#)

<code>eui-0000024b080312f3</code>	ttncat-gw11-icmsic	<span>●</span> connected	<a href="#">EU_863_870</a>
<code>eui-0000024b080312fd</code>	ttncat-gw12	<span>●</span> not connected	<a href="#">EU_863_870</a>
<code>eui-0001fcc23d0ddc99</code>	ttncat-gw01-vistarica	<span>●</span> connected	<a href="#">EU_863_870</a>
<code>eui-fcc23dffe0a763e</code>	ttncat-gw08-escoladeltreball	<span>●</span> not connected	<a href="#">EU_863_870</a>
<code>eui-fcc23dffe0f306c</code>	ttncat-gw02-ecoserveis	<span>●</span> connected	<a href="#">EU_863_870</a>

# MONITORITZACIÓ A TTN.CAT



Estat actual

Passarel·la ▲	Estat
ttncat-gw01-vistarica	ONLINE
ttncat-gw02-ecoserveis	ONLINE
ttncat-gw03-fablabbcn	ONLINE
ttncat-gw05-iesramblaprim	OFFLINE
ttncat-gw06-iesmundet	ONLINE
ttncat-gw08-escoladeltreball	OFFLINE
ttncat-gw11-icmcsic	ONLINE
whitecat-ajuntament	OFFLINE
whitecat-biblioteca	ONLINE
whitecat-citilab	ONLINE
worldsensing-gw01	ONLINE
worldsensing-gw02	ONLINE
xp-gw01-rpi3-ic880a	ONLINE

# PASSAREL·LES MONOCANAL



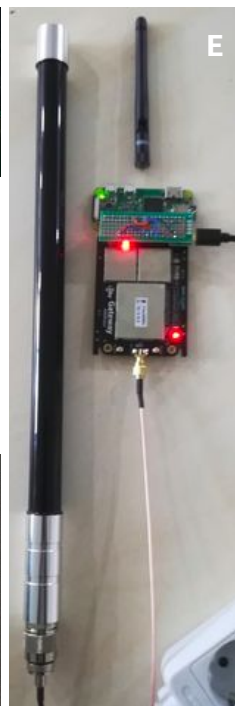
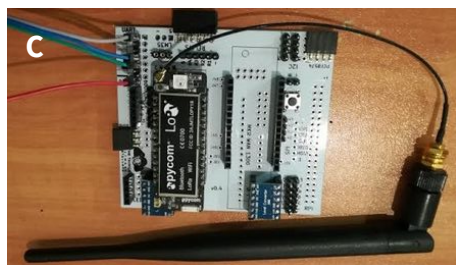
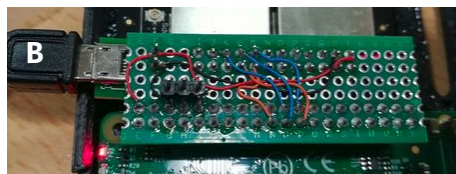
És possible construir-se una GW monocanal amb un xip per device (SX127x). Útil per:

- Tenir una eina per provar de baix cost
- Aprendre i provar per un mateix

Però

- No pot rebre per tots els canals simultàneament
- No crea una GW completa per a TTN

# PASSAREL·LES DIY



- A: RAK831 amb Raspberry Pi 2 B+
- B: Connexió DIY
- C: Passarel·la monocanal basada LoPy
- D: RAK833 amb Raspberry Pi 3
- E: RAK831 amb Raspberry Pi Zero W
- F: IMST IC880A amb Raspberry Pi 3



# PASSAREL·LES COMERCIALS

- Kerlink
- Multitech
- Link Labs
- Lorix
- Option
- The Things Network
- ...

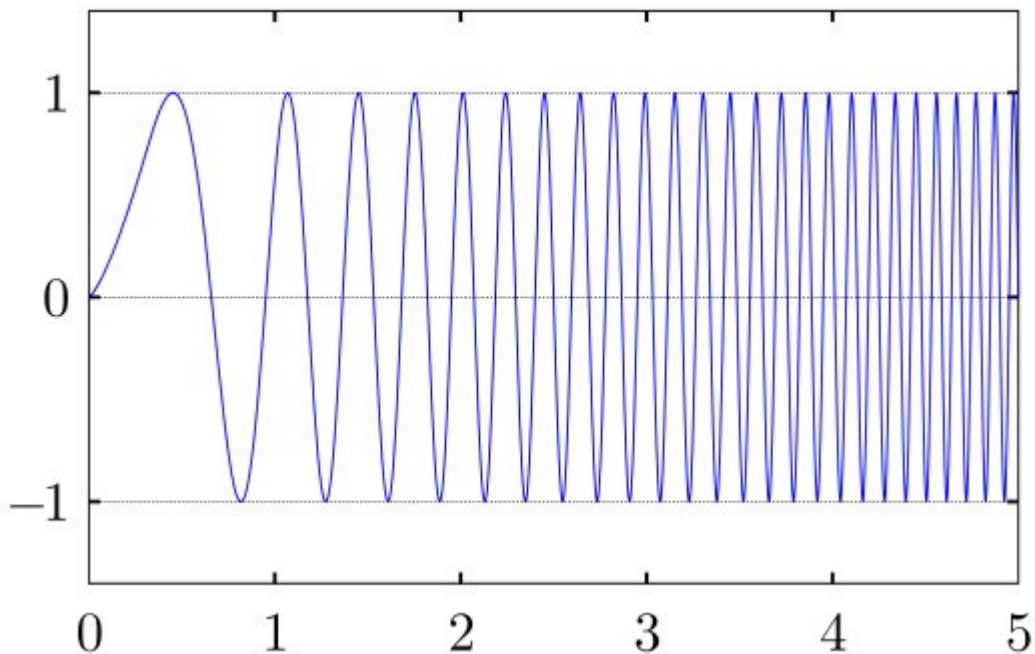




# MODULACIÓ LORA

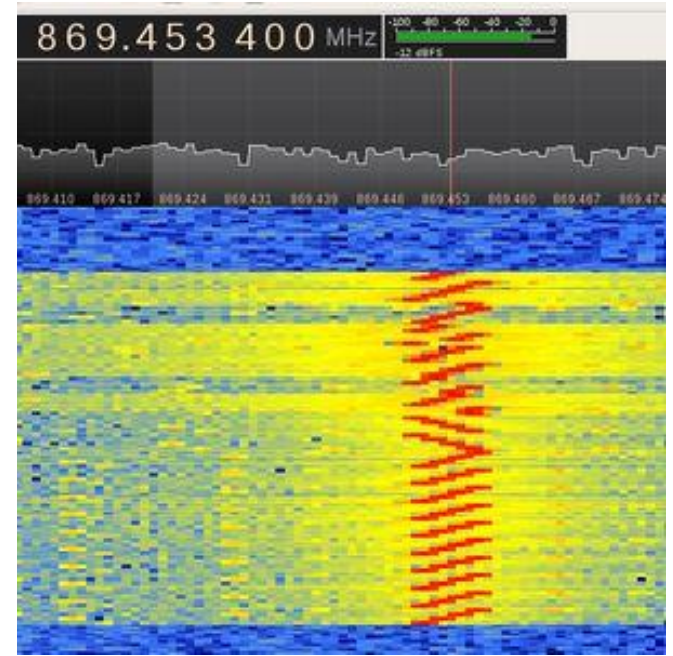
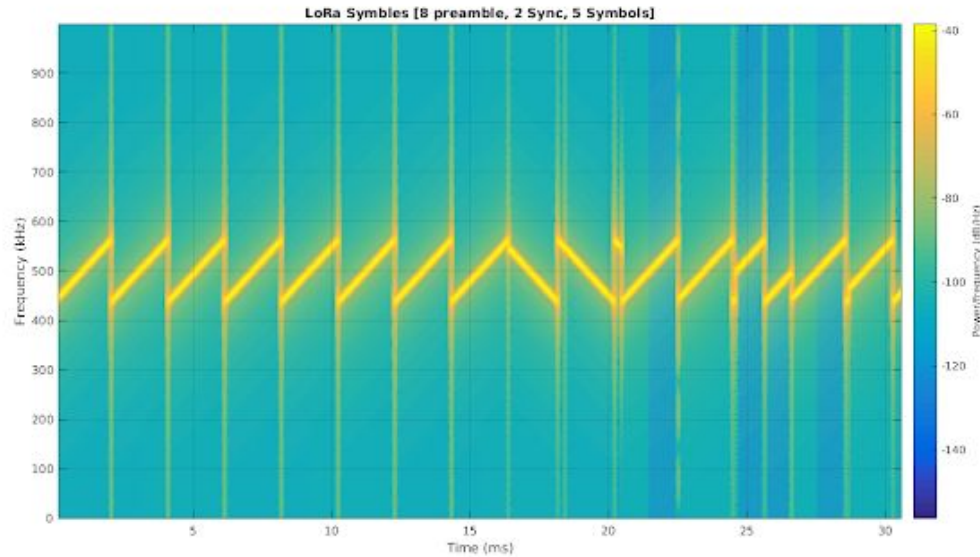
# MODULACIÓ CHIRP

## Compressed High Intensity Radar Pulse



- La tècnica CSS (*Chirp Spread Spectrum*) permet enviar senyals a llargues distàncies.
- El producte de l'amplada de banda (*bandwidth*) per el temps és sempre més gran que 1. ( $BW \cdot T > 1$ )
- CSS és tolerant a efecte doppler.
- Es fa servir per baix consum i baixa velocitat de transmissió (datarate).

# SPREAD FACTOR

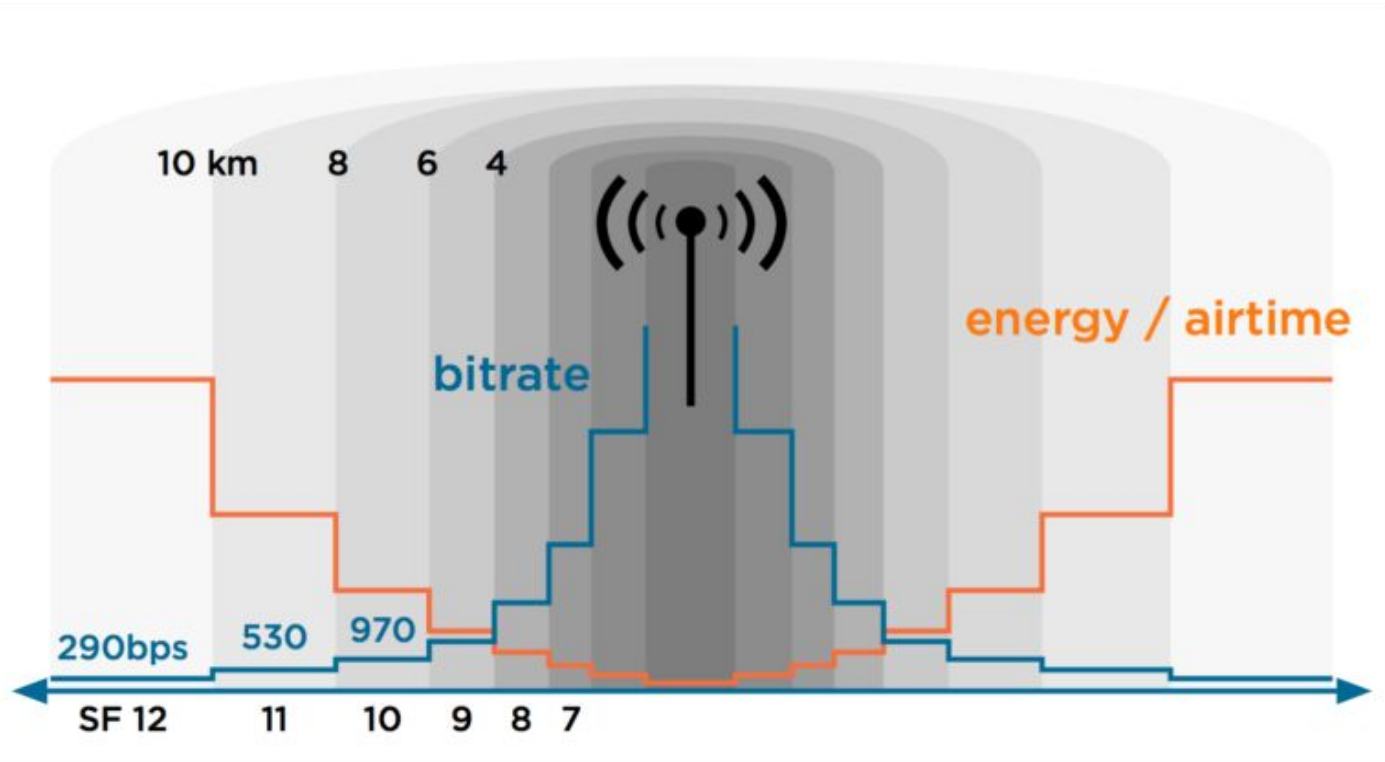


# SPREAD FACTOR

## LoRa Spreading Factors (125kHz bw)

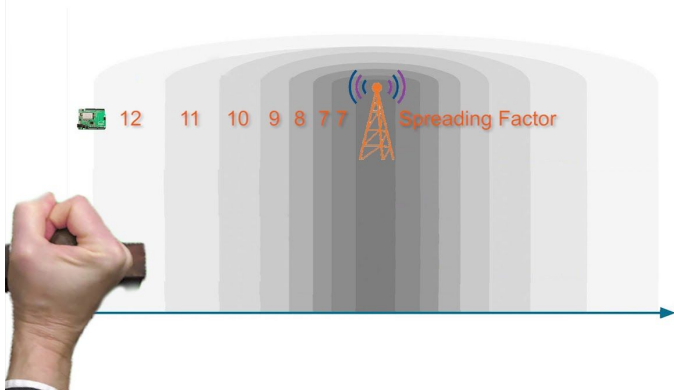
Spreading Factor	Chips/symbol	SNR limit	Time-on-air (10 byte packet)	Bitrate
7	128	-7.5	56 ms	5469 bps
8	256	-10	103 ms	3125 bps
9	512	-12.5	205 ms	1758 bps
10	1024	-15	371 ms	977 bps
11	2048	-17.5	741 ms	537 bps
12	4096	-20	1483 ms	293 bps

# SPREAD FACTOR



# SPREAD FACTOR

Chirp Spread Spectrum




The Internet  
Research Center  
Fostering your  
Innovation

## LoRa Technology Overview

### LoRa Channels and Spreading Factors (SFs)

- Sub-GHz: ETSI ERC 70-03

Sub-band	Freq. Range (MHz)	Conditions (Pwr/DC)
g1	868 – 868.6	14 dBm @ 1%
g2	868.7 – 869.2	14 dBm @ 0.1%
g3	869.4 – 869.65	27 dBm @ 10%
g4	869.7 – 870	14 dBm @ 1%

 LoRa: 10 channels of 125 KHz

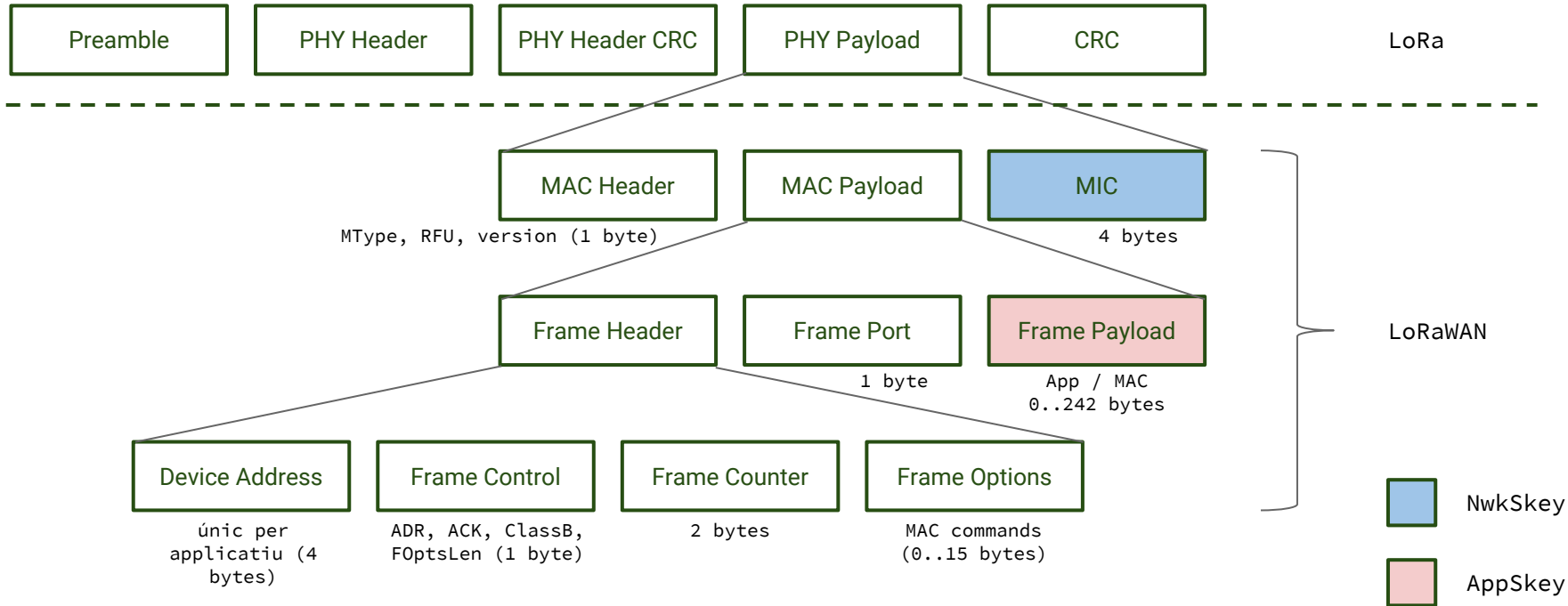
- LoRa Spreading Factors

Spreading Factor (SF)	Bit Rate
SF=12	250 bps
SF=11	440 bps
SF=10	980 bps
SF=9	1.7 Kbps
SF=8	3.1 Kbps
SF=7	5.4 Kbps

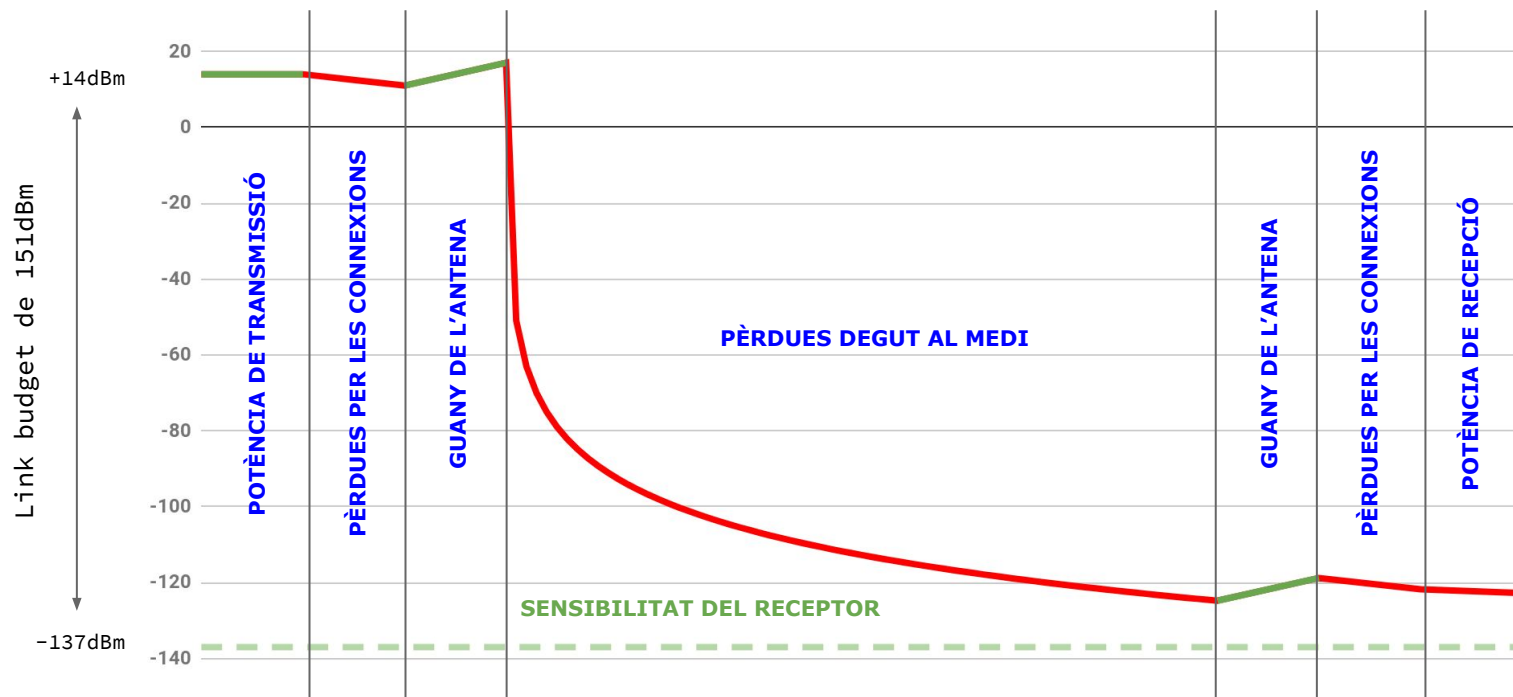
↑ Range

- What does the duty cycle mean?
  - I just transmitted a 0.5 s long frame on the g1 sub-band. I have to be silent during the following 49.5 s (some freedom in computing the total time)

# FORMAT DEL MISSATGE LORAWAN



# BALANÇ DE L'ENLLAÇ (LORA)





# MODEL HATA PER LORA



El model Hata és un model de propagació de ràdio per predir el *path loss* en exterior, vàlid per freqüències entre 150 i 1500MHz. És un **model empíric** basat en dades del model Okumura, per això també és conegut com a model Okumura-Hata.

Per 868MHz el model mostra alguns valors interessants:

	<b>Alçada TX</b>	<b>Alçada RX</b>	<b>Rang</b>
Ciutat gran (250bps)	0.1m	40m	4km
Ciutat gran (1760bps)	0.1m	40m	2.5km
Rural (250bps)	0.1m	40m	9km
Rural (250bps)	1m	100m	13km

GRÀCIES!