UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

CALIBRATGE I AJUSTAMENT D'UN CLOUD-RADAR A BANDA W

Treball Final de Grau

Presentat a

L'Escola Tècnica d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya

per

Xavier Colomé

En compliment parcial

dels requisits pel grau en

ENGINYERIA EN SISTEMES DE TELECOMUNICACIÓ

Tutor: Albert Aguasca

Barcelona, Juny 2016

Resum

Aquest projecte es basa en la caracterització, calibratge i millorar d'un radar que treballa a 94 GHz. L'objectiu del projecte és que el radar sigui capaç de detectar núvols per a després analitzar les dades obtingudes.

En la primera part del projecte s'indiquen les bases teòriques dels radars, així com els diferents mètodes que s'utilitzen per calcular les característiques dels blancs.

El segon bloc, se centra a explicar quines parts formen el radar i les funcions que fa cada una. Posteriorment, s'explica el procés realitzat per tal d'obtenir els primers resultats. El procés seguit abans de detectar blancs en moviment ha consistit en primer lloc a caracteritzar el sistema i tot seguit realitzar diferents mesures per calibrar el radar. Un cop caracteritzat i calibrat s'han realitzat tests per tal de detectar núvols i obtenir les primeres mesures.

En la part final del projecte, després d'analitzar els resultats, es proposen diferents alternatives per obtenir unes millors prestacions.

Resumen

Este proyecto se centra en la caracterización, calibración y mejora de un radar que trabaja a 94 GHz. El objetivo del proyecto es que el radar sea capaz de detectar nubes para después analizar los datos obtenidos.

En la primera parte del proyecto se indican las bases teóricas de los radares, así como los diferentes métodos que se utilizan para calcular las características de los blancos.

El segundo bloque, se centra en explicar qué partes forman el radar y las funciones que hace cada uno. Posteriormente, se explica el proceso realizado para obtener los primeros resultados. El proceso seguido antes de detectar blancos en movimiento ha consistido en primer lugar en caracterizar el sistema y a continuación realizar diferentes medidas para calibrar el radar. Una vez caracterizado y calibrado se han realizado test para detectar nubes y obtener las primeras medidas.

En la parte final del proyecto, después de analizar los resultados, se proponen diferentes alternativas para obtener unas mejores prestaciones.

Abstract

This project is focused on the characterization, calibration and the improvement of the radar that works at 94 GHz. The aim of this project is that the radar detects clouds and then analyzes the data.

The first part of the project introduces the theoretical bases of radars, as well as the different methods used to calculate the characteristics of targets.

The second section, is focused on explaining which parts consist the radar and the functions that does each one. Then, is followed the explanation of the process performed to achieve the first results. The process that is used before detecting moving targets consisted firstly to characterize the system and then performs different measures to calibrate the radar. Once characterized and calibrated, tests were performed to detect clouds and got the first results.

In the last part of the project, after analyzing the results have been proposed various improvements to get better performance.

Agraïments

Al meu tutor Albert Aguasca i al professor Antoni Broquetas per la seva dedicació, assessorament i per tot el que m'han ensenyat durant el transcurs del projecte. També vull agrair l'ajuda que m'han donat els responsables del laboratori.

Als meus pares Josep i Dolors i al meu germà Jordi perquè sempre estaven disposats a donar-me suport i aconsellar-me.

Per últim, vull donar les gràcies als amics i companys de classe per tots els moments que hem passat junts durant la carrera. Sense ells tot hauria estat més complicat, gràcies.

Historial de revisió i registre d'aprovació

Revisió	Data	Propòsit
0	19/05/2016	Creació document
1	27/05/2016	Revisió document
3	16/06/2016	Revisió document
4	27/06/2016	Revisió document

LLISTA DE DISTRIBUCIÓ DEL DOCUMENT

Nom	e-mail
Xavier Colomé	xavier.colome@alu-etsetb.upc.edu
Albert Aguasca	aguasca@tsc.upc.edu
Antoni Broquetas	broquetas@tsc.upc.edu

Escrit per:		Revisat i aprovat per:	
Data	19/05/2016	Data	27/06/2016
Nom	Xavier Colomé	Nom	Albert Aguasca
Posició	Autor del Projecte	Posició	Supervisor del Projecte

Taula de continguts

Resum 1
Resumen 2
Abstract 3
Agraïments 4
Historial de revisió i registre d'aprovació 5
Taula de continguts 6
Llista de Figures 8
Llista de Taules 10
1. Introducció 11
1.1. Objectius 12
1.2. Pla de treball 13
2. Fonaments teòrics 16
2.1. Introducció bàsica al radar 16
2.1.1. Radar d'ona contínua modulat en freqüència (FMCW) 16
2.2. Balanç de potència 18
3. Radar de banda W amb dues antenes 21
3.1. Requisits i especificacions 21
3.2. Estructura del radar 22
3.2.1. Generació de senyal 23
3.2.2. Transmissor i receptor 25
3.2.3. Antenes 26
3.2.4. Característiques dels components i de les alimentacions 27
3.3. Validació i caracterització del sistema amb dues antenes 30
3.3.1. Sistema de generació de senyal 30
3.3.2. Caracterització del transmissor i el receptor 33
3.3.3. Caracterització i ajustament de les antenes 35
3.3.4. Caracterització de l'amplificador i els filtres en banda base 40
3.4. Balanç de potència 41
3.5. Resultats 44
3.6. Incidències 48
4. Millores en el radar de banda W 50
4.1. Propostes radar 50

4.1.1. Radar amb dues antenes: 50
4.1.2. Radar amb una sola antena: 50
4.2. Estudi de les diferents opcions 51
5. Pressupost 55
6. Conclusions i línies futures 57
Bibliografia.....59
Apèndix A: Paquets de treball.....60
Apèndix B: Informació per canviar mode funcionament 70
Glossari 73

Llista de Figures

Figura 1: Diagrama de Gantt 15
Figura 2: Freqüència de batut per blancs estàtics 17
Figura 3: Freqüència de batut per blancs en moviment 17
Figura 4: Absorció atmosfèrica dels gasos per a diferents condicions d'humitat 22
Figura 5: Diagrama de blocs radar amb dues antenes 22
Figura 6: Esquema DDS 23
Figura 7: Esquema general d'un PLL 24
Figura 8: Esquema bàsic PLL (HMC703) 24
Figura 9: Transmissor sense amplificador 25
Figura 10: Transmissor amb amplificador 25
Figura 11: Receptor 26
Figura 12: Tipus reflectors parabòlics 26
Figura 13: Placa d'alimentació 29
Figura 14: Esquema d'alimentacions 29
Figura 15: Alimentació de l'amplificador 30
Figura 16: Senyal a la sortida del PLL 30
Figura 17: Senyal en el divisor de potència 31
Figura 18: Senyal chirp 31
Figura 19: PRF 32
Figura 20: Amplada de banda chirp de 13,74 MHz (Esquerra) i PRF de 2,44 KHz (Dreta) 32
Figura 21: Amplada de banda chirp de 100 MHz (Esquerra) i PRF de 5 KHz (Dreta) 33
Figura 22: Batímetre 33
Figura 23: Mesura d'atenuador 34
Figura 24: Cadena de components 34
Figura 25: Potència a la sortida del mesclador 35
Figura 26: Estructura caracterització de l'amplificador 35
Figura 27: Muntatge cambra anecoica 36
Figura 28: Transmissor (a) i receptor (b) 37
Figura 29: Potència rebuda amb alimentador RX 37
Figura 30: Potència rebuda amb alimentador TX 38
Figura 31: Esquema mesura guany antenes 39

Figura 32: Potència amb antenes alineades 39
Figura 33: Resposta del filtre a 8,91 MHz 40
Figura 34: Resposta del filtre a 1,2 MHz 41
Figura 35: Paràmetre S21 filtres a 1,2 MHz i 500 KHz 41
Figura 36: Reflectivitat detectable amb SNR mínima de 10 dB 43
Figura 37: Reflectivitat detectable amb integració de 1000 polsos 44
Figura 38: Entorn de mesura 45
Figura 39: Mesura triedre 45
Figura 40: Mesura d'edificis 46
Figura 41: Situació de blancs 46
Figura 42: Turó d'en Cors 47
Figura 43: Mesures Turó 47
Figura 44: Mesura núvols 48
Figura 45: Diagrama de blocs radar amb una antena 50
Figura 46: Diagrama de blocs radar amb una antena i sense acoblador 51
Figura 47: Reflectivitat detectable pel cas d'una antena parabòlica i una antena Cassegrain 52
Figura 48: Reflectivitat detectable pel cas amb una única antena Cassegrain 53
Figura 49: Comparació reflectivitats detectables 53
Figura 50: Comparació reflectivitats detectable amb integració de polsos 54
Figura 51: Pins PIC18F4520 70
Figura 52: Circuit DDS 71
Figura 53: Factor divisor 74HC_HCT4020 71
Figura 54: Pins 74HC_HCT4020 72

Llista de Taules

Taula 1: Bandes de freqüència 12
Taula 2: Fites 14
Taula 3: Especificacions radar 21
Taula 4: Paràmetres antena 27
Taula 5: Requisits components 28
Taula 6: Paràmetres radar 42
Taula 7: Reflectivitats núvols 43
Taula 8: Paràmetres radar amb una única antena Cassegrain 53
Taula 9: Preus del maquinari 55
Taula 10: Preus del programari 56

1. Introducció

Els primers radars van ser dissenyats per a detectar i conèixer la ubicació d'objectes (aeronaus) situats a molta distància. Durant la utilització en la Segona Guerra Mundial (1939-1945) es detectaven ecos en llocs on se sabia que no hi havia aeronaus, i al principi no sabien a què es devien aquests ecos. Més endavant van esbrinar que els ecos provenien de blancs atmosfèrics, però per ells no tenia cap rellevància, ja que el seu propòsit era detectar naus enemigues. No va ser fins acabada la guerra que es van començar a estudiar aquests fenòmens, i és en aquest moment quan es comencen a construir els primers radars meteorològics.

Al llarg del temps s'han anat millorant les tècniques dels radars i ara ja són capaços no només de detectar blancs i especificar la seva ubicació, sinó que també poden obtenir la velocitat dels blancs i altres característiques com la forma, les dimensions, el material, etc.

En el nostre cas ens hem limitat a la detecció de distància, tot i que el radar també és capaç de mesurar la velocitat.

A part de millorar les tecnologies també han anat canviant les bandes de freqüència a la qual els radars treballaven. Els radars poden treballar a aquestes bandes de freqüència (Taula 1):

Banda	Rang de freqüències
Banda HF	3 a 30 MHz
Banda VHF	30 a 300 MHz
Banda UHF	300 a 1000 MHz
Banda L	1 a 2 GHz
Banda S	2 a 4 GHz
Banda C	4 a 8 GHz
Banda X	8 a 12 GHz
Banda Ku	12 a 18 GHz

Banda K	18 a 27 GHz
Banda Ka	27 a 40 GHz
Banda V	40 a 75 GHz
Banda W	75 a 110 GHz
Onda mm	110 a 300 GHz

Taula 1: Bandes de freqüència

El document consta de 6 capítols, inclòs aquest primer capítol introductori. En aquest primer capítol es defineixen els objectius i s'especifiquen les tasques a realitzar durant el projecte.

El segon capítol s'expliquen una mica les bases teòriques dels radars en general i es comenten les equacions que s'utilitzen en la detecció de blancs.

En el tercer capítol, primer es fa una explicació de l'estructura del nostre radar, detallant quina és la funció de cada component per després fer una validació del sistema de generació de senyal i explicar les mesures realitzades, el procediment seguit a l'hora de fer les mesures, els resultats obtinguts, etc. Tot seguit es comenten les incidències que han sorgit i les solucions proposades.

En el quart capítol es descriuen les millores proposades i es fa un estudi per decidir quina és la millor opció.

El cinquè capítol mostra una aproximació del cost del radar, especificant el preu dels diferents components emprats.

I per últim el sisè capítol conté les conclusions i una explicació de les línies futures que es poden realitzar per millorar el radar.

1.1. Objectius

L'objectiu principal del projecte és calibrar i ajustar un radar meteorològic que treballa a 94 GHz amb la finalitat de detectar núvols. El radar meteorològic haurà de proporcionar la distància a la qual es troben els núvols i també la seva velocitat. Malgrat això, abans de poder detectar els núvols i obtenir les dades de distància i velocitat cal caracteritzar el sistema, per a saber l'abast del radar i les seves limitacions. A més també s'ha de fer un bon calibratge, ja que sinó no es podran analitzar els resultats.

Per tant, aquest projecte consisteix en primer lloc a fer un anàlisi del radar així com fer una bona caracterització del sistema. Tot seguit cal plantejar quines limitacions comporten els resultats obtinguts i en cas que sigui necessari, pensar com es podrien millorar les prestacions del radar per tal d'aconseguir complir els nostres objectius. Un

cop especificat el sistema, cal ajustar el radar i realitzar mesures per tal de comprovar si es compleix el que s'havia previst amb anterioritat. I el més important, comprovar que el radar és capaç de detectar núvols, per després analitzar les dades obtingudes.

Els objectius principals del projecte són:

1.- Analitzar el sistema

2.- Caracteritzar el sistema

3.- Especificar les limitacions

4.- Calibrar el sistema

5.- Realitzar mesures

6.- Analitzar els resultats

7.- Implementar possibles millores

1.2. Pla de treball

Durant el transcurs del projecte s'han anat marcant unes tasques i un seguit de fites a entregar en diferents setmanes per tal d'evitar endarrerir-nos en la realització de les tasques i tenir un control de com va el projecte. Les fites marcades són les que es mostren en la taula següent (Taula 2):

WP#	Tasca#	Títol breu	Fites / entregues	Data (setmana)
2	3	Especificacions components	Document amb les especificacions.	1ª setmana de febrer
3	2	Link budget	Excel resultats	3ª setmana de febrer
6	1	Proposta de TFG i Pla de Treball	Document Proposta de TFG i Pla de Treball	1-3-2016
8	4	Filtre sortida	Caracterització filtre	1ª setmana de març
9	3	Matlab	Codi matlab	2ª setmana de març
11	2	Tests edificis	Fitxer amb mesures	5ª setmana de març
11	3	Tests muntanyes	Fitxer amb mesures	5ª setmana d'abril
14	1	Revisió crítica	Document Revisió crítica	9-5-2016
17	2	Tests núvols	Fitxer amb mesures	1ª setmana de juny

18	1	Memòria	Document memòria	27-6-2016

Taula 2: Fites

A continuació es mostrarà el diagrama de Gantt (Figura 1), els paquets de treball es troben en l'apèndix A.

Figura 1: Diagrama de Gantt

2. Fonaments teòrics

2.1. Introducció bàsica al radar

La paraula RADAR prové dels mots anglesos Radio Detection And Ranging (Detecció i localització per ràdio). El radar és un sistema capaç de detectar la posició i/o la velocitat d'un objecte (blanc) a partir de radiacions electromagnètiques.

El funcionament del radar consisteix a emetre ones electromagnètiques a l'entorn, de manera que en presència de blancs es produeixen certes reflexions. Aquestes reflexions són les que el radar captarà per tal d'estimar la distància o la velocitat del blanc. La distància del blanc es determina a partir del temps que triguen en arribar les reflexions. En canvi, per determinar la velocitat es té en compte l'efecte Doppler. L'efecte Doppler és la variació de freqüència d'una ona al ser emesa o rebuda per un objecte en moviment. Quan el blanc s'està apropant, la freqüència de l'ona rebuda serà major que la freqüència transmesa. Contràriament, quan el blanc s'allunya la freqüència rebuda serà menor.

En funció del senyal transmès es poden distingir dos grans grups, el radar polsat i el radar d'ona continua:

El radar polsat:

El radar polsat transmet polsos de duració curta i gran potència en intervals periòdics de temps. En els intervals de temps en què no s'envien polsos s'està a l'espera de rebre els ecos.

El radar d'ona continua:

Emet senyals contínuament sense modular amb una potència de pic menor que el radar polsat. Només pot mesurar la velocitat, a partir de la diferència de freqüència entre el senyal emès i rebut. No es pot mesurar la distància, ja que al transmetre senyal contínuament no té una base de temps per tal de calcular el retard. Una millora d'aquest radar és el radar d'ona contínua modulat en freqüència (FMCW).

2.1.1. Radar d'ona contínua modulat en freqüència (FMCW)

Es basa en transmetre el senyal contínuament però variant de forma constant la freqüència al llarg d'un període de temps. D'aquesta manera és possible mesurar distància i velocitat.

Es compara el senyal rebut amb el senyal transmès per obtenir la freqüència de batut (freqüència diferència entre les dues). Per a blancs estàtics el resultat que s'obté és semblant al de la Figura 2.

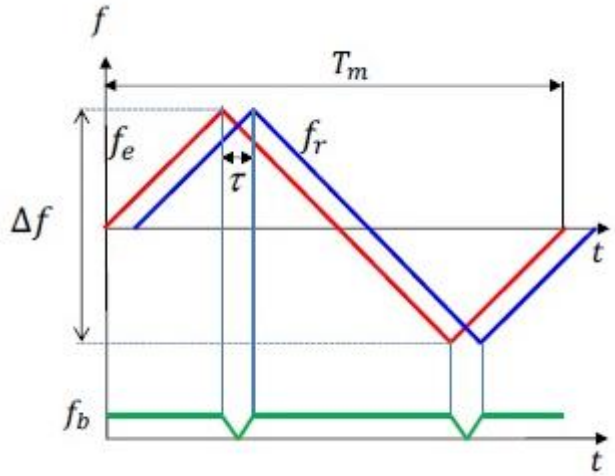


Figura 2: Freqüència de batut per blancs estàtics

La freqüència de batut s'obté de la diferència entre el senyal transmès i rebut en valor absolut (f_b=|f_e-f_r|). A partir del pendent de la Figura 2 s'obté:

$$\frac{f_b}{\tau} = \frac{\Delta_f}{\frac{T_m}{2}} \rightarrow f_b = \frac{2 \cdot \Delta_f \cdot \tau}{T_m} \; [Hz] \qquad (1)$$

Tenint en compte que el retard τ=2R/c obtenim:

$$f_b = \frac{2 \cdot \Delta_f \cdot 2 \cdot R}{T_m \cdot c} = \frac{4 \cdot \Delta_f \cdot R \cdot f_m}{c} \rightarrow R = \frac{f_b \cdot c}{4 \cdot \Delta_f \cdot f_m} \; [m] \qquad (2)$$

Si el blanc ja no és estàtic, la freqüència del senyal rebut queda desplaçada a causa de l'efecte Doppler tal com es mostra en la Figura 3:

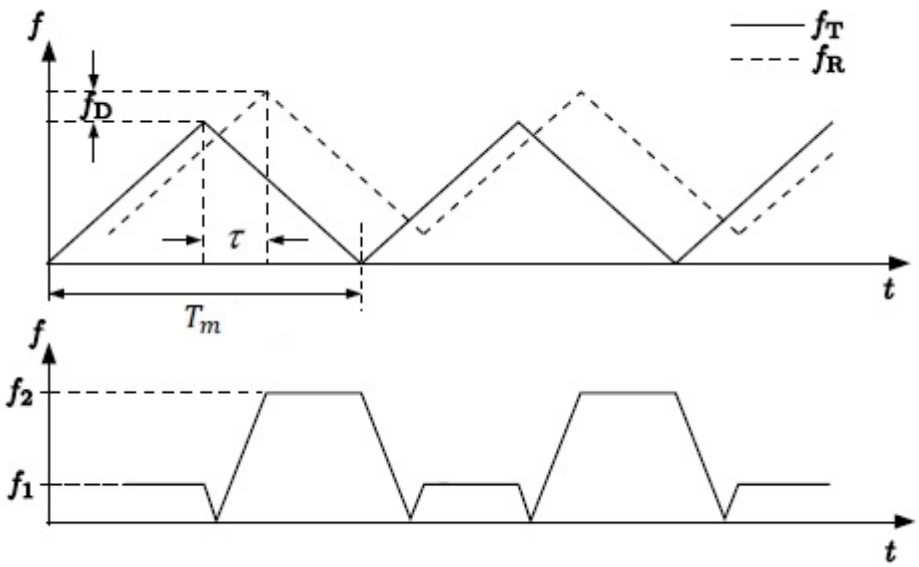


Figura 3: Freqüència de batut per blancs en moviment

En aquest cas apareixen dues freqüències de batut (f_1, f_2) de les quals es pot obtenir la distància i la velocitat a partir de les següents equacions:

$$f_b = \frac{f_2 + f_1}{2}\ [Hz] \tag{3}$$

$$f_d = \frac{f_2 - f_1}{2}\ [Hz] \tag{4}$$

$$f_d = -\frac{2v}{\lambda}\ [Hz] \tag{5}$$

La velocitat s'obté aïllant la 'v' de l'equació 5, i la distància es troba substituint en l'equació 2 la f_b trobada.

2.2. Balanç de potència

El balanç de potència ens permet tenir unes aproximacions de les relacions senyal-soroll (SNR) que obtindríem per a diferents tipus de núvols. Un paràmetre important dels radars és la secció recta radar (σ). La secció recta radar dóna informació de la capacitat de reflectir l'energia amb què és il·luminat. Aquest paràmetre depèn, entre d'altres, de la forma de l'objecte, de la reflectivitat del material de l'objecte, i de la seva mida. Per això, a l'hora de definir la secció recta d'un objecte es poden diferenciar tres grans grups: els blancs puntuals, els blancs superficials i els blancs volumètrics.

Per a blancs puntuals la SNR obtinguda en el nostre sistema es pot calcular a partir de l'equació següent:

$$SNR = \frac{P_t \cdot {G_{ant}}^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot n_i \cdot E_i}{(4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L \cdot k \cdot T_{eq} \cdot \frac{2}{T_{chirp}}} \tag{6}$$

On n_i i E_i són el nombre de polsos i l'eficiència d'integració en cas de fer integració de polsos. En cas de no fer integració de polsos es poden treure de l'equació. Les pèrdues totals vénen definides per L i el terme $2/T_{chirp}$ correspon a l'amplada de banda del soroll que es té en recepció.

En el cas de blancs superficials, la σ es pot definir com el producte de la superfície il·luminada per l'antena pel valor de la secció recta radar per unitat de superfície (σ^0).

$$\sigma = \sigma^0 \cdot S_{il} = \sigma^0 \cdot \Delta\theta^2 \cdot R^2\ [m^2] \tag{7}$$

On

Δθ = Angle d'obertura de l'antena

Pel que fa a blancs volumètrics, com són els núvols, la pluja i altres fenòmens meteorològics, el factor σ es pot definir com una densitat volumètrica (η [m^2/m^3])

multiplicada pel volum d'incertesa (V_u). On V_u es calcula com el producte de la resolució longitudinal (ΔR) per la superfície il·luminada per l'antena.

$$\sigma = \eta \cdot V_u = \eta \cdot \Delta\theta^2 \cdot R^2 \cdot \Delta R \; [m^2] \tag{8}$$

La densitat volumètrica es defineix com el conjunt de seccions rectes radar produïdes per les partícules que hi ha en 1 m^3.

$$\eta = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i \left[\frac{m^2}{m^3}\right] \tag{9}$$

Les partícules que formen els núvols es consideren esfèriques i a més tenen una mida molt reduïda (típicament al voltant de 10 µm [7]). La dispersió de les partícules es pot aproximar com dispersió Rayleigh, si el radi de les partícules que formen el núvol són menors que λ/10. La dispersió Rayleigh és la dispersió de les ones electromagnètiques de manera uniforme. La majoria de les partícules dels núvols compleixen l'aproximació de dispersió Rayleigh i per tant l'equació 9 es pot expressar com:

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \cdot |K_w|^2 \sum_{i=1}^{N} {D_i}^6 \left[\frac{m^2}{m^3}\right] \tag{10}$$

On K_w depèn de l'índex de refracció i absorció del blanc. Els núvols es defineixen com un conjunt de partícules diminutes d'aigua o gel. En aquest cas per a unes temperatures entre 0 i 20 °C les partícules d'aigua tenen un factor $|K_w|^2 \approx 0{,}93$ i en el cas del gel $|K_w|^2 \approx 0{,}2$ [8].

Per a facilitar el càlcul del factor η, s'ha definit el paràmetre Z (factor de reflectivitat). Aquest paràmetre es defineix com la suma de la sisena potència dels diàmetres de les partícules contingudes en 1 m^3.

$$Z = \sum_{i=1}^{N} {D_i}^6 \left[\frac{mm^6}{m^3}\right] \tag{11}$$

A partir de la definició del paràmetre Z, el factor η es pot reescriure com:

$$\eta \left[\frac{m^2}{m^3}\right] = \sum_{i=1}^{N} \sigma_i = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \cdot |K_w|^2 \cdot \left(Z \left[\frac{mm^6}{m^3}\right] \cdot 10^{-18}\right) \tag{12}$$

Com que el paràmetre Z s'expressa en mm^6/m^3, es necessita un factor 10^{-18} per obtenir la Z en m^6/m^3. Com que això comporta tenir valors molt petits, normalment s'expressa el paràmetre Z en escala logarítmica (dBZ).

$$Z = 10 \log_{10} \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} {D_i}^6 \left[\frac{mm^6}{m^3}\right]}{1 \; \frac{mm^6}{m^3}} \right) [dBZ] \tag{13}$$

Per a obtenir la SNR es necessita saber el valor de secció recta radar, i això no sempre és fàcil d'obtenir. Per això normalment s'especifica quina SNR necessita el sistema per funcionar correctament, i es planteja el problema de la següent manera. En funció de la SNR que el sistema necessita es pot conèixer quina és la secció recta radar mínima que el nostre sistema serà capaç de captar, a partir de l'equació 6.

$$\sigma = \frac{SNR \cdot (4\pi)^3 \cdot R^4 \cdot L \cdot k \cdot T_{eq} \cdot \frac{2}{T_{chirp}}}{P_t \cdot {G_{ant}}^2 \cdot \lambda^2 \cdot G_{sist}} \; [m^2] \tag{14}$$

3. Radar de banda W amb dues antenes

3.1. Requisits i especificacions

Requisits del projecte:

- Llarg abast: El radar ha de ser capaç de detectar blancs que es trobin a gran alçada.
- Velocitat: Ha de ser capaç de detectar blancs en moviment.
- Penetrar els núvols: És necessari que la radiació del pols transmès pugui penetrar els núvols de més baixa alçada, per tal de poder detectar blancs a més distància.
- Resolució: Capacitat de detectar blancs propers. És a dir, si hi ha dos blancs propers, el radar ha de saber distingir els dos blancs, i no un de sol.

Especificacions del projecte:

En la taula següent (Taula 3) es mostren les especificacions del radar:

Especificació	Valor
Abast	3 Km
Velocitat	50 Km/h
Resolució	1,5 m - 10,9 m
Freqüència	94 GHz
Potència transmesa	21 dBm

Taula 3: Especificacions radar

Per satisfer aquestes especificacions el radar consta de tres modes de funcionament: PRF= 20 KHz i ΔB= 15 MHz, PRF= 5 KHz i ΔB= 100 MHz i per últim PRF= 2'44 KHz i ΔB= 13'74 MHz. Cada mode té els seus avantatges i inconvenients per això a continuació s'explica una mica que aporta cada mètode.

S'ha especificat que la velocitat màxima dels núvols que nosaltres serem capaços de detectar sigui de 50 Km/h (13,89 m/s), per tant la freqüència Doppler màxima detectable (calculada a partir de l'equació 5) serà de 8,7 KHz. Com que el PRF ha de ser major que el doble de la freqüència Doppler, s'agafa el valor de 20 KHz. Per això, hi ha un mode de funcionament que treballa a aquesta freqüència, i és el que ens permetrà fer les mesures dels núvols amb més velocitat. L'amplada de banda del senyal és un compromís entre la resolució longitudinal i la quantitat de potència reflectida. Si l'amplada de banda és elevada la cel·la de resolució disminueix de tamany i per tant la potència reflectida és menor, en canvi, si l'amplada de banda és menor el volum de la cel·la de resolució és més gran i per tant la potència reflectida és major. Per aquest motiu, es tenen dos modes

més de funcionament, per a què en cada cas s'utilitzi el mode que més convingui. Per exemple, per a detectar un triedre s'utilitza l'amplada de banda de 100 MHz, ja que la resolució en distància és d'1,5 m, i per tant es pot precisar millor la posició del triedre. En canvi, per detectar núvols s'utilitza l'amplada de banda de 13,74 MHz, ja que la potència reflectida és major.

Es treballa a la freqüència de 94 GHz, ja que a aquesta freqüència es poden penetrar els núvols, i a més l'atenuació atmosfèrica no és massa elevada. Tal com es pot veure en la Figura 4.

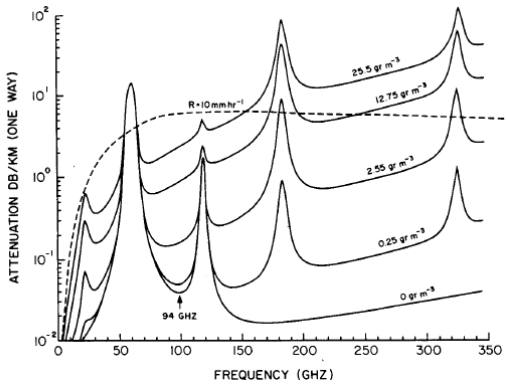


Figura 4: Absorció atmosfèrica dels gasos per a diferents condicions d'humitat

3.2. Estructura del radar

Per tal de complir el propòsit del projecte basat en la caracterització i la millora d'un sistema radar FMCW que treballa a 94 GHz i satisfer els requisits esmentats anteriorment s'ha definit la següent estructura de radar. El sistema bàsic del radar es pot veure en el diagrama de blocs de la Figura 5:

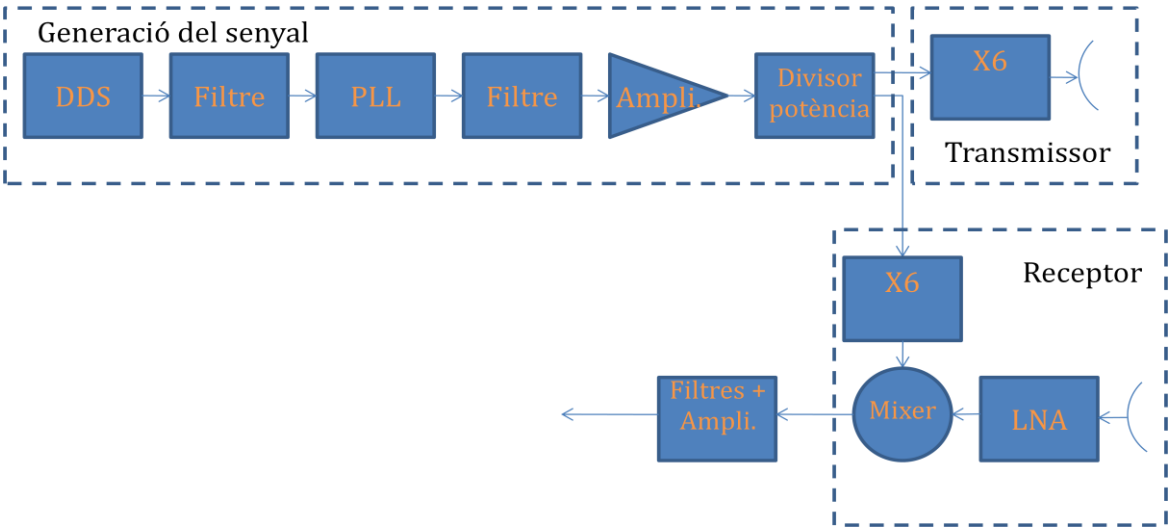


Figura 5: Diagrama de blocs radar amb dues antenes

El diagrama de blocs anterior es pot organitzar en els següents apartats:

- Generació de senyal

- Transmissor
- Receptor
- Antenes
- Alimentació

A continuació explicarem amb més detall els blocs anteriors.

3.2.1. Generació de senyal

La funció d'aquests blocs és generar un senyal chirp de freqüència 15,66 GHz.

DDS (Direct Digital Synthesizer) més filtre

El DDS és un dispositiu utilitzat per crear formes d'ona a partir d'una referència de rellotge de freqüència fixa.

El DDS està format bàsicament per:

- Acumulador de fase
- Un 'mapejador'
- Convertidor digital-analògic

Un esquema de DDS és el mostrat en la Figura 6:

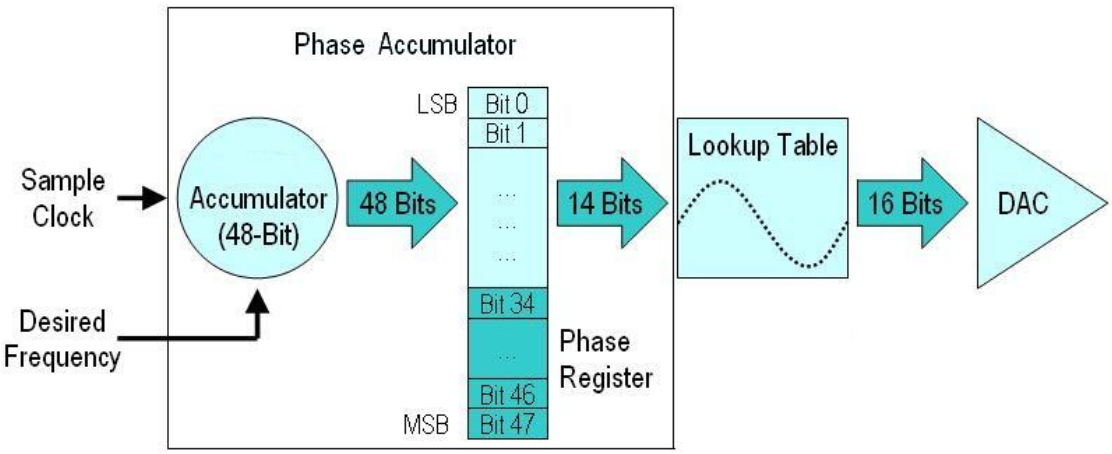


Figura 6: Esquema DDS

El funcionament del DDS comença amb l'acumulador de fase on li passes la freqüència que desitges i el senyal de rellotge i ell va situant en cada posició de memòria la fase que li correspon. Tot seguit el mapejador assigna un valor de tensió a cada valor de la fase en funció del senyal que desitges obtenir. Aquests valors de tensió a partir del convertidor digital-analògic es transformen en voltatge que formaran el senyal analògic. A més, després del convertidor se sol posar un filtre per tal d'eliminar els senyals espuris.

En el nostre cas, s'utilitza per crear un senyal chirp triangular centrada a una freqüència de 50 MHz.

PLL (Phase Locked Loop)

És un circuit realimentat que manté una diferència de fase constant entre un senyal de referència i la sortida. Un PLL té tres components bàsics: el detector de fase, el filtre de llaç i l'oscil·lador controlat per tensió (VCO). Tal com es mostra en la Figura 7.

- Detector de fase: Compara la fase de la sortida del VCO amb el senyal de referència i proporciona un senyal de sortida proporcional a aquesta diferència de fase.
- Filtre pas baix: Elimina el soroll i les components d'alta freqüència generades, de manera que només deixa passar la component de baixa freqüència.
- Oscil·lador controlat per tensió: És un oscil·lador amb una freqüència proporcional a la tensió d'entrada.

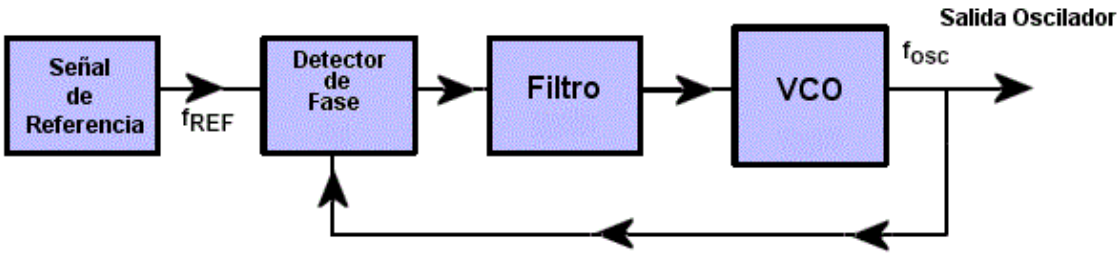


Figura 7: Esquema general d'un PLL

En el nostre sistema, el PLL actua com a multiplicador de manera que el circuit queda de la següent manera (Figura 8):

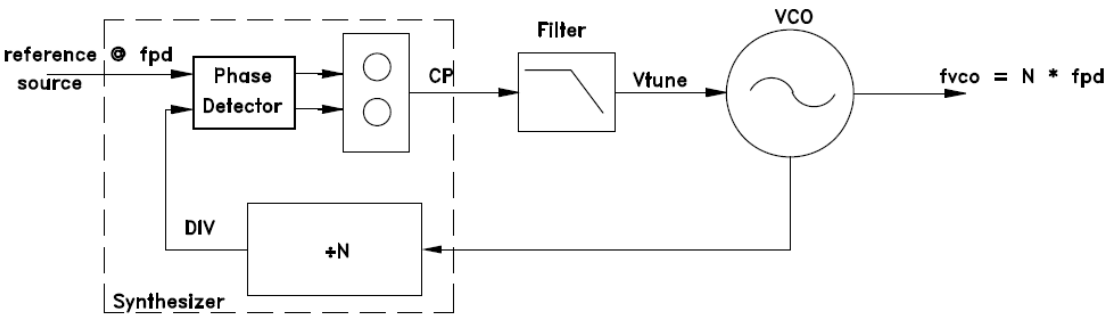


Figura 8: Esquema bàsic PLL (HMC703)

Al afegir un divisor en el llaç, la freqüència de sortida és igual a la freqüència d'entrada pel valor del divisor.

Després del PLL hi ha un filtre per eliminar el senyal de les freqüències espúries que s'hagin pogut generar. El motiu d'aquest filtre s'explicarà més endavant. A continuació s'amplifica el senyal i amb el divisor de potència s'obté la potència que s'entregarà al transmissor i el senyal que s'utilitzarà per a obtenir la freqüència de batut en recepció.

3.2.2. Transmissor i receptor

El transmissor està format per un circuit multiplicador de freqüència per 6 per traslladar el senyal de 15,66 GHz a 94 GHz. Aquest multiplicador està situat el més proper a l'alimentador de l'antena per tal de minimitzar les pèrdues de la guia a 94 GHz. El senyal del multiplicador passarà per la guia d'ona que estarà connectada a l'alimentador. Aquest darrer serà l'encarregat d'il·luminar l'antena. L'alimentador estarà subjectat al braç de l'antena per una estructura que es pot desplaçar, de manera que ens permetrà ajustar millor la posició de l'alimentador. L'estructura mencionada anteriorment és la que es mostra en la Figura 9.

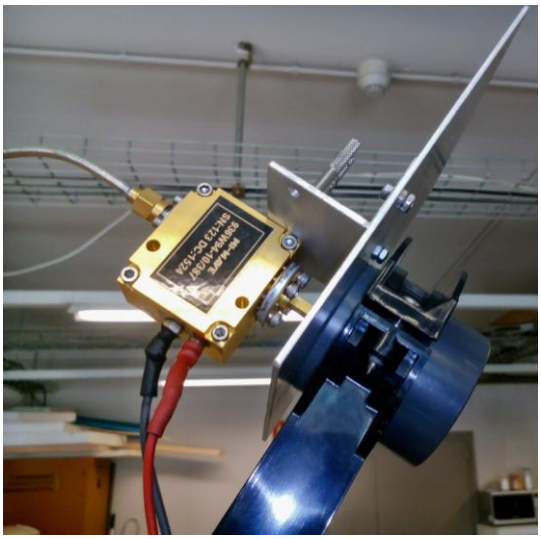


Figura 9: Transmissor sense amplificador

Cal destacar que per transmetre major potència i poder arribar a detectar blancs a més distància es va incorporar un amplificador entre el multiplicador per 6 i la guia. Per tant, un cop integrat l'amplificador, el sistema queda de la següent manera (Figura 10):

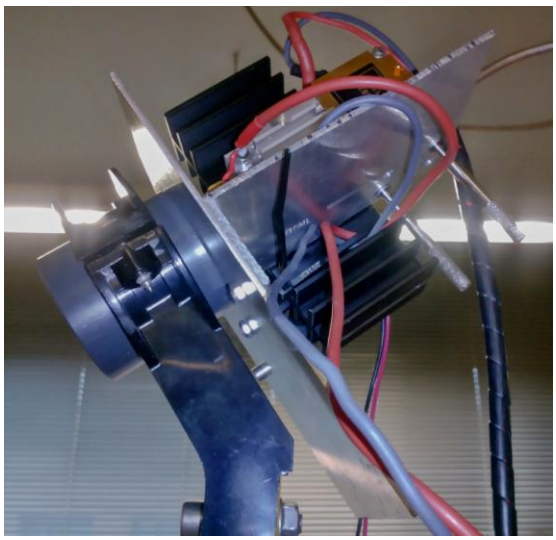


Figura 10: Transmissor amb amplificador

Respecte al receptor, l'estructura per subjectar l'alimentador és la mateixa. A més a més del multiplicador per 6 també s'ha afegit un amplificador de baix soroll (LNA) i un

mesclador. El senyal capturat és amplificat per LNA i forma part del senyal d'entrada del mesclador. El senyal del divisor de potència que no s'ha utilitzat pel transmissor és el que ara passa pel multiplicador per 6 i correspon al senyal de l'oscil·lador local del mesclador. A la sortida del mesclador s'obté el senyal en banda base que conté la informació dels blancs. El sistema receptor, es pot veure en la Figura 11.

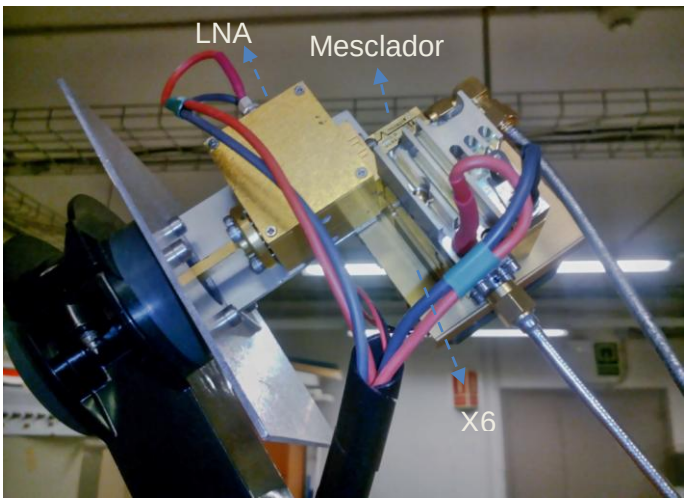


Figura 11: Receptor

3.2.3. Antenes

Cal recordar que la relació senyal-soroll es degrada amb la distància, a causa de les pèrdues de propagació de les ones electromagnètiques en espai lliure. Com que les ones han de fer el camí d'anada i de tornada les pèrdues són proporcionals a R^4. Per això si es volen detectar objectes a grans distàncies és necessari disposar d'antenes molt directives (amb un guany d'antena molt elevat). Les antenes més utilitzades que tenen aquestes característiques són les antenes tipus reflectors. De reflectors hi ha de diferents tipus: els reflectors dielèctrics, els reflectors parabòlics, els reflectors esfèrics, etc. De tots aquests grups els més utilitzats són els reflectors parabòlics que poden tenir diferents configuracions tal com es mostra en la Figura 12:

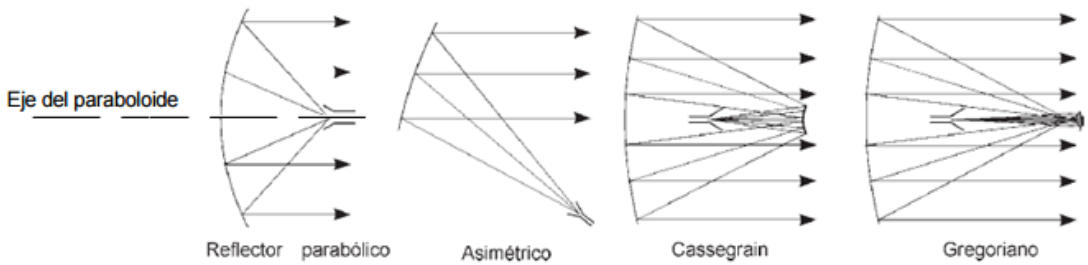


Figura 12: Tipus reflectors parabòlics

De les configuracions anteriors la més comuna és l'antena reflector parabòlic amb configuració simètrica i l'alimentador en el focus.

A causa de la geometria de l'antena, les ones radiades per l'alimentador són reflectides pel reflector de manera que les ones de sortida són paral·leles a l'eix del paraboloide. A més, el camí recorregut per totes les ones té la mateixa distància, per tant en la boca de l'antena s'obté una ona plana.

Per a realitzar el nostre sistema s'utilitzen els reflectors parabòlics de la firma Televés, de 80 cm de diàmetre, juntament amb els alimentadors dissenyats en el departament de TSC de la UPC que operen a 94 GHz. Si ens fixem en les característiques del reflector (Taula 4), podem veure que els reflectors han estat dissenyats per a treballar en el marge de freqüències de 10,75 a 12,75 GHz i proporcionen un guany de 39 dB.

En el nostre cas, com es treballa a 94 GHz (longitud d'ona de 3,191 mm), les rugositats de l'antena afectaran molt més l'eficiència de l'antena que si treballéssim a les freqüències que ens diu el fabricant. Per això, s'ha decidit aplicar un factor d'eficiència d'il·luminació molt baix (20%). Tenint en compte aquesta eficiència s'obté un guany de 49,69 dB.

$$G = \frac{4\pi \cdot A_{geo} \cdot \eta}{\lambda^2} = \frac{4\pi \cdot (\pi \cdot 0{,}35^2) \cdot 0{,}2}{(3{,}191 \cdot 10^{-3})^2} = 93021{,}68 \rightarrow 49{,}69\ dB \qquad (15)$$

Característiques tècniques		
Referència		7536
Dimensió de l'antena	*mm*	800
Guany a 11.7 GHz	*dB*	39
Amplada de banda	*GHz*	10.7 a 12.75
Angle òfset	*(º)*	26.5
Gruix	*mm*	0.6

Taula 4: Paràmetres antena

3.2.4. Característiques dels components i de les alimentacions

Tots els components esmentats anteriorment tenien uns requeriments de potència proporcionats pels fabricants que queden resumits en la Taula 5:

Components	Potència entrada nominal	Potència sortida	Guany	Requeriments alimentació
Circuit DDS AD9858 (Analog Devices)				15 V, 0.15 A 5 V, 0.4 A
Circuit PLL HMC703 (Analog Devices)				15 V, 0.01 A 5.5 V, 0.33 A
Amplificador (Minicircuit) ZX60-183+	20 dBm		22.5 dB	5 V, 0.32 A
Multiplicador per 6 (receptor) (Ducommun) FMA-92020615-01	5 dBm (Min.) 10 dBm (Màx.)	15 dBm		8 V, 0.6 A
Multiplicador per 6 (transmissor) (Miwave) 936W94-10/387	0 a 5 dBm	5 a 15 dBm 10 dBm (Tip.)		8 V, 0.6 A
Mesclador (Millitech) MXP-10-RSSSL	RF: -10 dBm LO: 13 dBm			
LNA (HXI) HLNAW-241	-24 dBm	8 dBm	32 dB	6 V, 0.36 A
Amplificadors + filtres				8 V
Amplificador (Millitech) AMP-10-10030	7.5 dBm	24 dBm	16.5 dB	15 V, 400 mA
Ventilador				12 V, 0.065 A

Taula 5: Requisits components

La majoria dels components tenen una alimentació diferent, per això en treballs previs es va dissenyar una placa que proporcionés totes les alimentacions necessàries. La placa es pot dividir en dues parts, una font lineal que passa de 220 Vac a 15 Vdc per alimentar el PLL i el DDS, ja que el PLL és sensible al soroll introduït per les alimentacions. La resta de components s'alimenten amb una font commutada que converteix 220 Vac en 12 Vdc. Les tensions per a cada component s'obtenen a partir de reguladors lineals. La Figura 13 mostra la placa d'alimentació i en la Figura 14 es pot veure un esquema de les alimentacions.

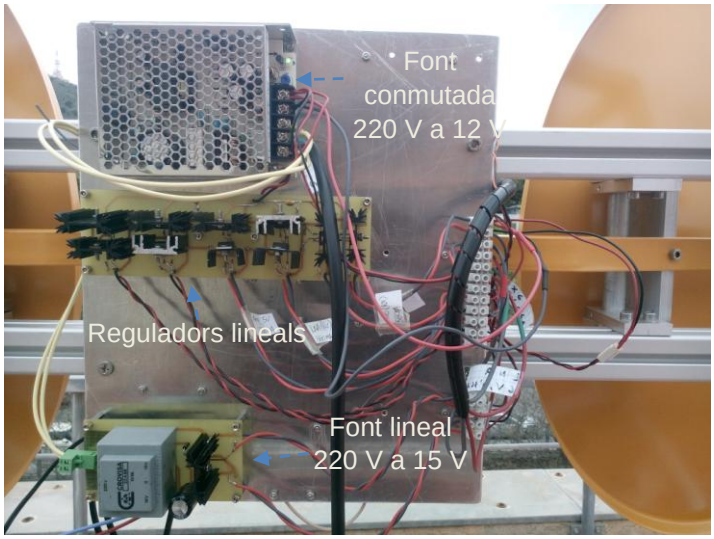


Figura 13: Placa d'alimentació

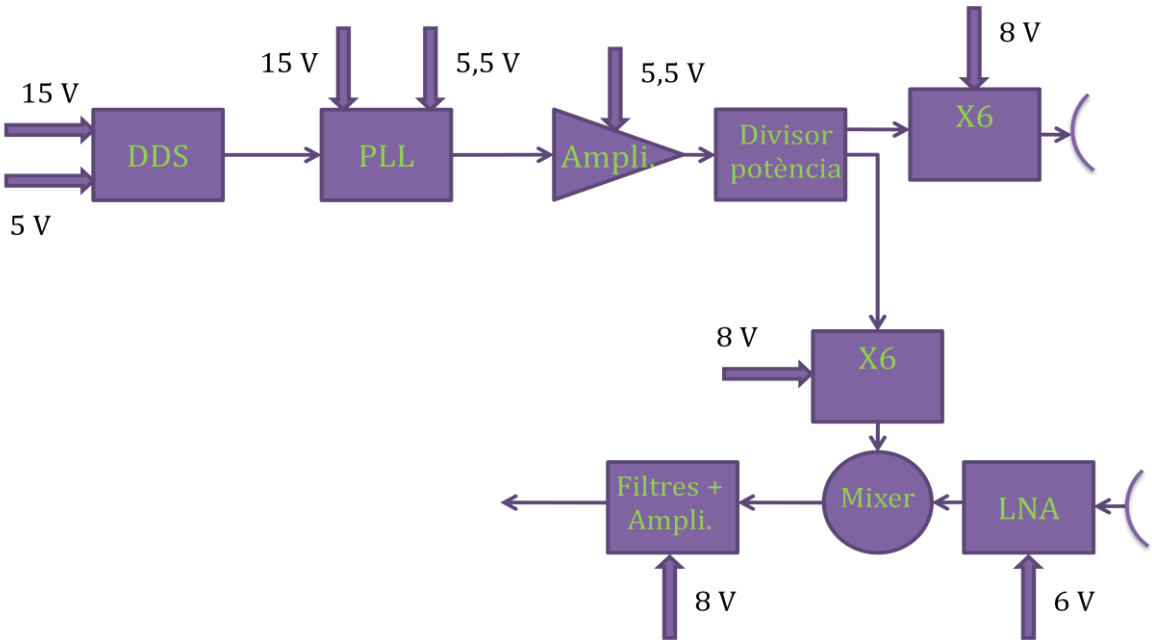
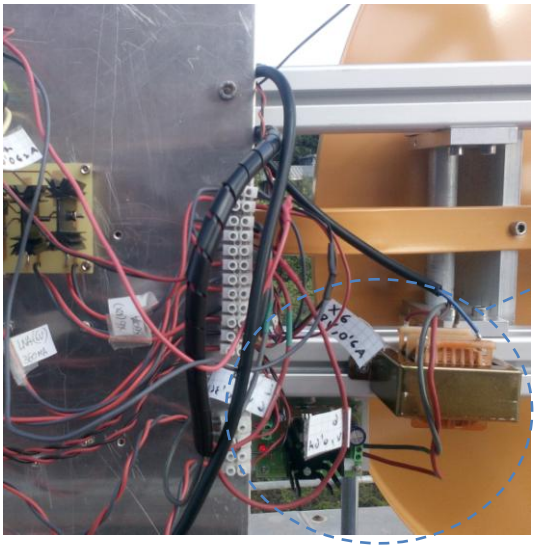


Figura 14: Esquema d'alimentacions

En el cas que es treballi amb l'amplificador de potència situat en el transmissor, s'ha afegit un transformador que et passa la tensió de 220 Vac a 15 V i un circuit regulador per evitar que arribi una tensió superior a 15 V i espatlli l'amplificador. En la imatge següent (Figura 15) es pot veure la situació de l'alimentació de l'amplificador.



Alimentació de l'amplificador

Figura 15: Alimentació de l'amplificador

3.3. Validació i caracterització del sistema amb dues antenes

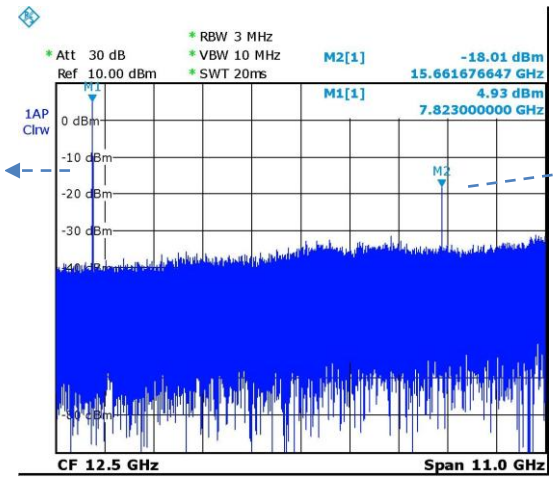
Un cop analitzat el sistema cal comprovar empíricament que s'obté el que s'ha previst. Primer de tot cal comprovar el sistema de generació de senyal. Recordem que principalment el sistema pot treballar amb 3 modes diferents: PRF= 20 KHz i ΔB= 15 MHz, PRF= 2,44 KHz i ΔB= 13,74 MHz i per últim PRF= 5 KHz i ΔB=100 MHz. A continuació caldrà caracteritzar els blocs de transmissió i recepció i per últim es caracteritzarà la resta del sistema (antenes, amplificador, filtres de sortida...).

3.3.1. Sistema de generació de senyal

Es comença revisant el que s'obté a la sortida del PLL. Per comprovar si es té el senyal a 7,8 GHz i també es poden veure els seus harmònics.

A la sortida del PLL s'obté el següent (Figura 16):

Senyal a 7,8 GHz



Primer harmònic

Figura 16: Senyal a la sortida del PLL

En la Figura 16 es pot observar com s'obté senyal en la freqüència 7,82 GHz que correspon als 50 MHz del DDS multiplicats per 156, que és el valor del divisor del PLL. A més, a la freqüència de 15,66 GHz s'obté un harmònic generat pel PLL. Si el Span fos més gran, es podria arribar a veure més harmònics, però si ens fixem, la diferència de potència entre els dos senyals és de 22,94 dB. Per tant, els següents harmònics tindran una potència tan baixa que són gairebé inapreciables.

Si connectéssim directament aquest senyal a l'amplificador que hi ha abans del divisor tindríem problemes amb l'harmònic principal. La potència de 4,93 dBm passa per un amplificador de potència que després s'injecta al multiplicador. Si mirem en la Taula 5, el valor màxim d'entrada del multiplicador per 6 veiem que és de 5 dBm. Per tant, la potència d'entrada superarà aquest llindar i es podria fer malbé el multiplicador. Per aquest motiu es va afegir un filtre per eliminar l'harmònic principal i evitar saturar o fer malbé el multiplicador.

De manera que en el divisor de potència s'obté només la freqüència de 15,66 GHz, tal com mostra la Figura 17.

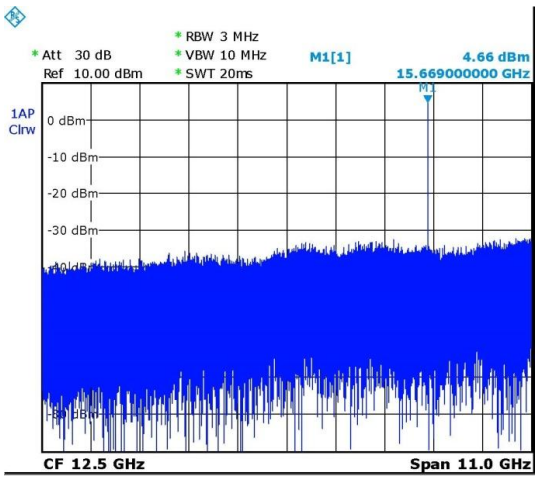


Figura 17: Senyal en el divisor de potència

Si analitzem amb més detall el senyal chirp generat pel PLL obtenim el següent resultat (Figura 18):

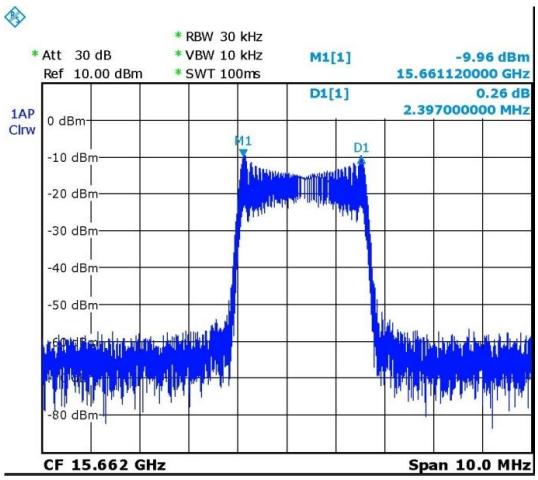


Figura 18: Senyal chirp

L'amplada de banda del senyal chirp és de 2,4 MHz, que en passar pel multiplicador per 6 es converteix en una chirp d'amplada de banda de 14,4 MHz.

Un cop sabem que les rampes de freqüència es generen correctament, cal validar que la freqüència de repetició dels polsos és l'adequada. Si el sistema està treballant a uns 15 MHz d'amplada de banda, la PRF hauria de ser de 20 KHz. Tal com es mostra en la figura següent (Figura 19):

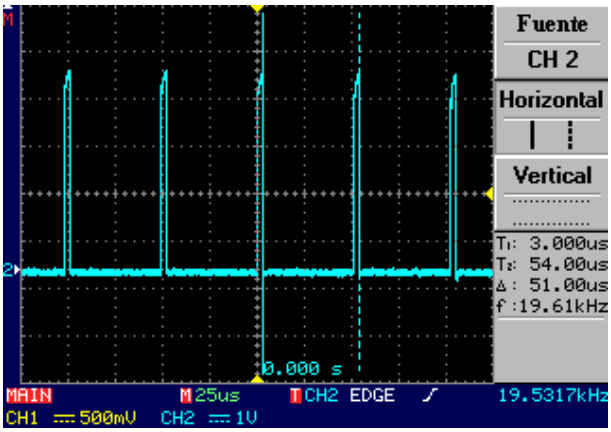


Figura 19: PRF

Si realitzem les mateixes mesures pel mode de funcionament de PRF=2,44 KHz i ΔB=13,74 MHz s'observen els resultats següents (Figura 20):

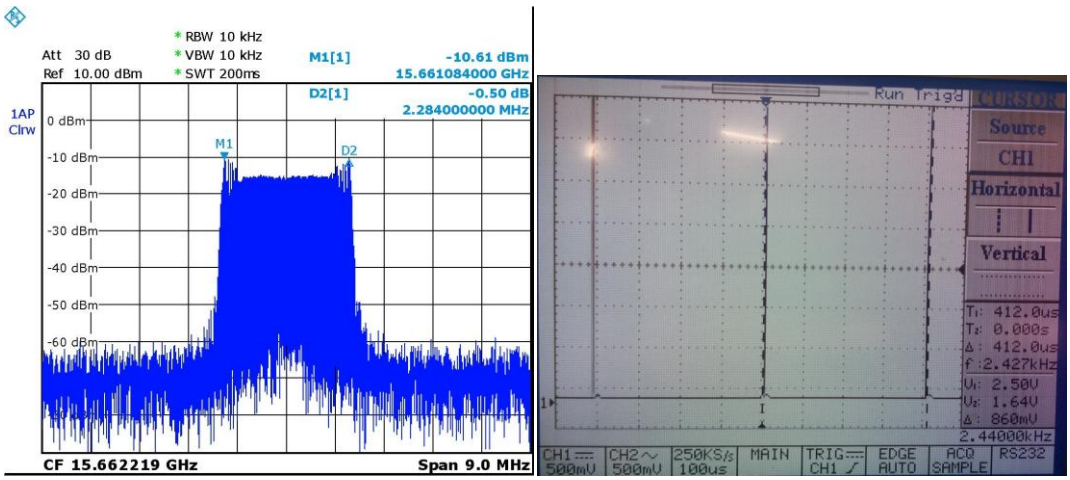


Figura 20: Amplada de banda chirp de 13,74 MHz (Esquerra) i PRF de 2,44 KHz (Dreta)

Per últim, pel mode de funcionament amb PRF=5 KHz i ΔB=100 MHz obtenim el resultat de la Figura 21.

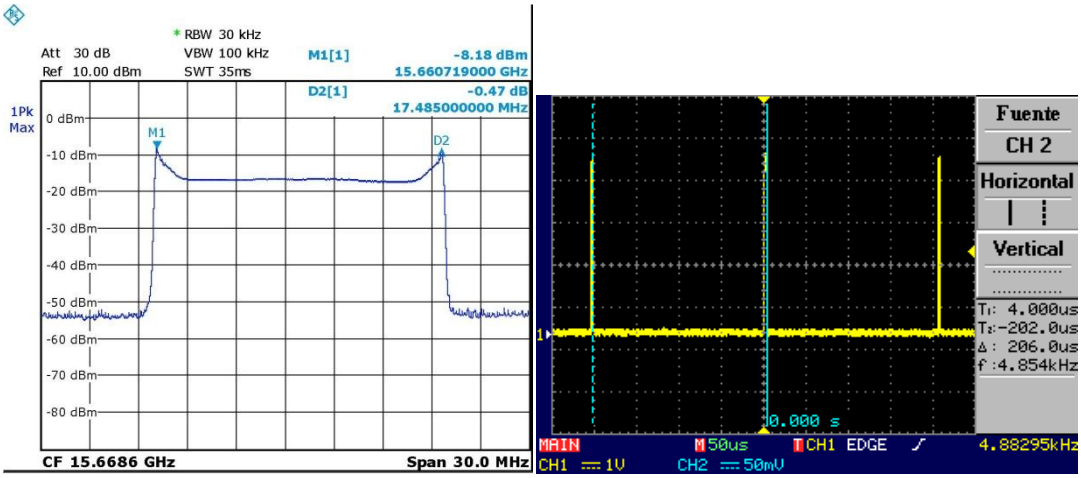


Figura 21: Amplada de banda chirp de 100 MHz (Esquerra) i PRF de 5 KHz (Dreta)

Arribats en aquest punt podem concloure que el sistema de generació de senyal funciona correctament.

3.3.2. Caracterització del transmissor i el receptor

Cal comprovar que les potències proporcionades pel fabricant corresponen amb les mesures que es realitzaran. En el cas que no corresponguin cal tenir en compte els valors obtinguts per a refer els càlculs de l'abast del sistema. Per fer les mesures de potència s'utilitza un batímetre com el que es mostra en la Figura 22.

Figura 22: Batímetre

La primera mesura que es realitzarà és la potència transmesa pel multiplicador per 6. El valor obtingut pel batímetre és de 6,91 dBm.

El següent pas és caracteritzar el LNA. El LNA no li podem entregar aquesta potència, ja que la potència d'entrada del LNA ha de ser de -24 dBm com a màxim, tal com s'especifica en la Taula 5. Per això, es col·loca un atenuador entremig que garanteixi que la potència d'entrada sigui inferior a -24 dBm (Figura 23). Per a comprovar que es garanteix aquest nivell de potència, cal alimentar el multiplicador per 6 i amb un

sintetitzador de freqüències generar una freqüència a 15,66 GHz que simuli la freqüència que el sistema injectaria al multiplicador per 6. Fet això, cal mesurar la potència a la sortida de l'atenuador i variar l'atenuació de l'atenuador fins a obtenir una potència inferior a -24 dBm.

Figura 23: Mesura d'atenuador

En el nostre cas, s'ha establert una atenuació de 32,2 dB que proporciona a la sortida una mesura de potència de -25,2 dBm. Un cop es garanteix que no se supera la potència d'entrada nominal del LNA, ja es pot col·locar el LNA. Un cop incorporat el LNA i alimentat correctament la mesura de potència obtinguda és de 6,69 dBm. Per tant, el guany de LNA és de 31,9 dB.

A continuació, es col·loca el mesclador i el multiplicador per 6 tal com es mostra en la Figura 24, per obtenir la potència de tota la cadena.

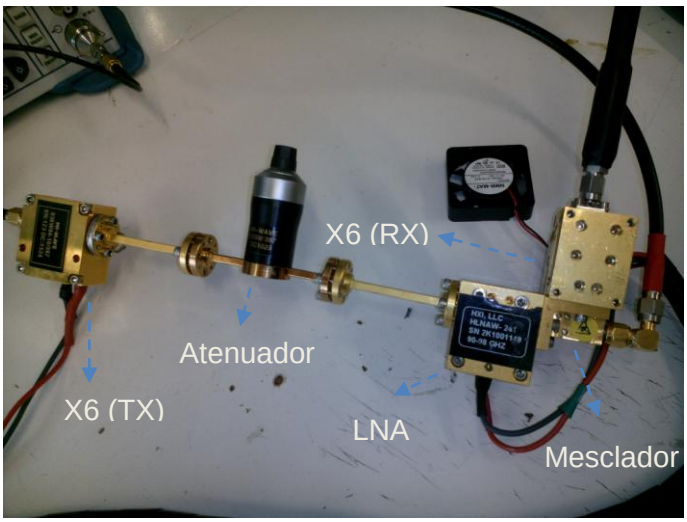


Figura 24: Cadena de components

En aquest cas, el sintetitzador per a generar el senyal del multiplicador per 6 es configura amb una freqüència de 15,661 GHz, de manera que el senyal de sortida es trobarà en els 60 MHz. Amb l'analitzador d'espectres es pot veure com la potència de sortida és de -3,37 dBm, tal com es mostra en la Figura 25.

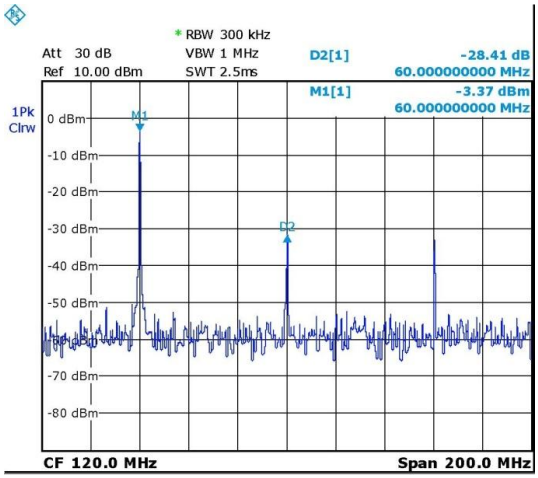


Figura 25: Potència a la sortida del mesclador

Per tant, si la potència de sortida és de -3,37 dBm el guany en recepció és de 23 dB.

Tal com ja s'ha comentat en apartats anteriors hi ha la possibilitat d'incorporar un amplificador en el transmissor, així doncs també és important caracteritzar l'amplificador.

Per caracteritzar l'amplificador es podria col·locar el multiplicador per 6 juntament amb l'amplificador i mesurar la sortida amb el batímetre, però d'aquesta manera es pot espatllar el batímetre a causa d'entregar-li massa potència. Per això, es col·loca un atenuador de 13,2 dB a la sortida de l'amplificador tal com es mostra en la Figura 26.

Figura 26: Estructura caracterització de l'amplificador

A partir del muntatge de la figura anterior i alimentant els components adequadament es mesura amb el batímetre una potència de 7,53 dBm.

Com que s'ha comprovat que el multiplicador per 6 entrega una potència de 7 dBm, aleshores es pot obtenir el guany de l'amplificador a partir del càlcul següent:

$$G_{amp} = 7{,}53\ dBm + 13{,}2\ dB - 7\ dBm = 13{,}73\ dB \quad (16)$$

3.3.3. Caracterització i ajustament de les antenes

El procés de caracteritzar les antenes no és del tot senzill, ja que a la freqüència de 94 GHz la distància de camp llunyà de les antenes és d'uns 400 m. A més, a causa de l'alta directivitat de les antenes, situar un objecte amb reflectivitat coneguda a aquesta freqüència i apuntar les antenes per tal de detectar-lo i poder especificar el seu guany,

no és un procés que es pugui realitzar fàcilment. A més, s'ha d'estar segur que s'està detectant aquest objecte i no un altre objecte proper, perquè si no els resultats seran erronis. Per això, primer s'ha pensat caracteritzar els alimentadors, ja que és una mesura més fiable.

Les mesures dels alimentadors s'han realitzat en la cambra anecoica del soterrani del D3. El primer experiment consisteix en col·locar l'alimentador del receptor a una distància de 8,4 m respecte d'una antena amb guany conegut (20 dB) i a partir de la potència rebuda fer els càlculs adequats per trobar el guany de l'alimentador. En la Figura 27 es pot veure el muntatge en la cambra anecoica.

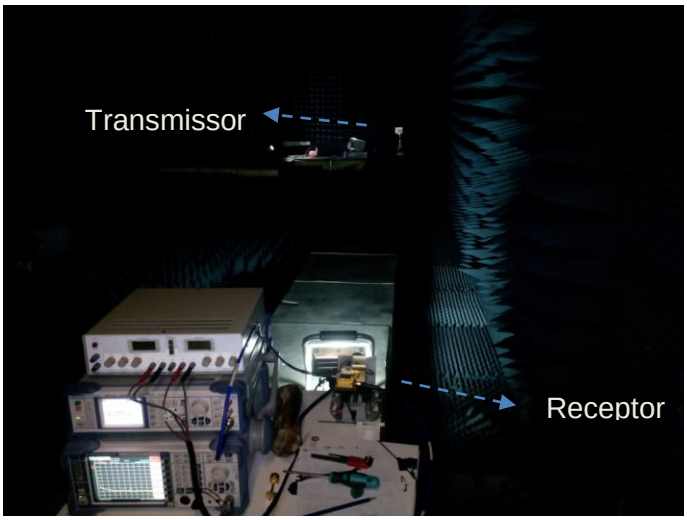
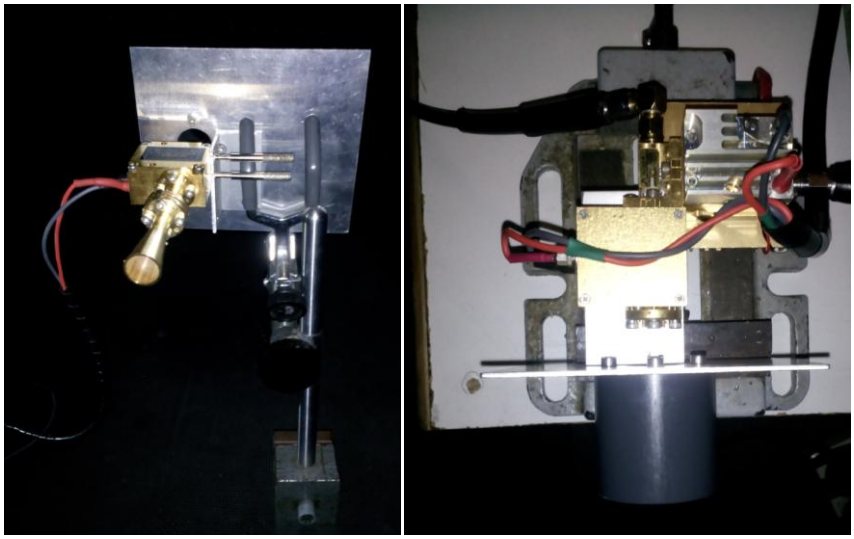


Figura 27: Muntatge cambra anecoica

El procediment de mesura és el següent: es col·loca el multiplicador per 6 del transmissor amb l'antena de 20 dB (Figura 28a). S'alimenta el multiplicador per 6 amb una font de tensió, i es configura el sintetitzador a 15,661 GHz i un nivell de potència de 7 dBm. Per altra banda, en recepció tenim el LNA, el mesclador, el multiplicador per 6 i l'alimentador de l'antena receptora (Figura 28b). Un cop ja estan alimentats tots els components i s'ha configurat el sintetitzador amb una freqüència de 15,66 GHz i un nivell de potència de 6 dBm, ja es pot obtenir la primera mesura amb l'analitzador (Figura 29).



(a) (b)

Figura 28: Transmissor (a) i receptor (b)

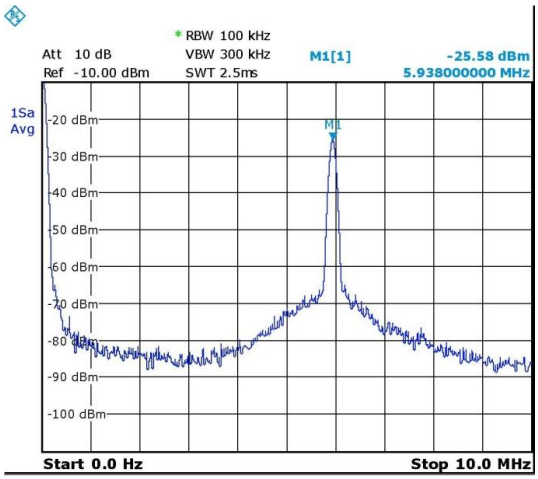


Figura 29: Potència rebuda amb alimentador RX

Amb una potència en recepció de -25,58 dBm i fent els càlculs pertinents obtenim un guany de 13,87 dB.

Es repeteix la mesura canviant l'alimentador anterior per l'alimentador del transmissor per tal de comprovar que els dos alimentadors són aproximadament iguals. Fet aquest canvi, s'obté la següent mesura (Figura 30):

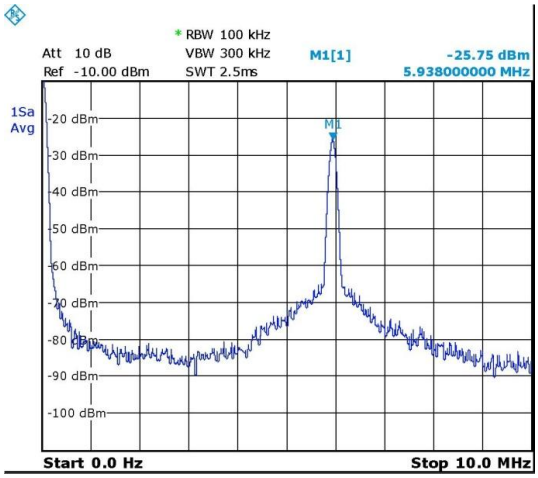


Figura 30: Potència rebuda amb alimentador TX

Amb aquesta potència s'obté un guany de 13,7 dB que no varia massa del guany anterior. Per tant, es pot assumir que els dos alimentadors són pràcticament iguals.

Per ajustar les antenes es col·loca en el terrat del D3 l'antena receptora i els components de recepció, però amb el senyal de sortida agafat directament del mesclador (sense amplificador ni filtres de sortida), ja que no necessitem amplificar el senyal. Amb el sintetitzador generem un to a 15,66 GHz i de 6 dBm que s'injecta al multiplicador per 6.

En el terrat del D5 (a 84 m del receptor) se situa el sistema transmissor que en aquest cas està format per una antena de 20 dB de guany. Amb un sintetitzador generem un to de 15,661 GHz i 7 dBm de potència perquè és la potència que hauria d'entregar el multiplicador per 6.

En la figura següent es pot veure un esquema del sistema de mesures. En la part esquerra es troba l'esquema del sistema receptor que s'ha situat en el terrat del D3, i en canvi, en la part dreta hi ha el sistema transmissor situat al terrat del D5.

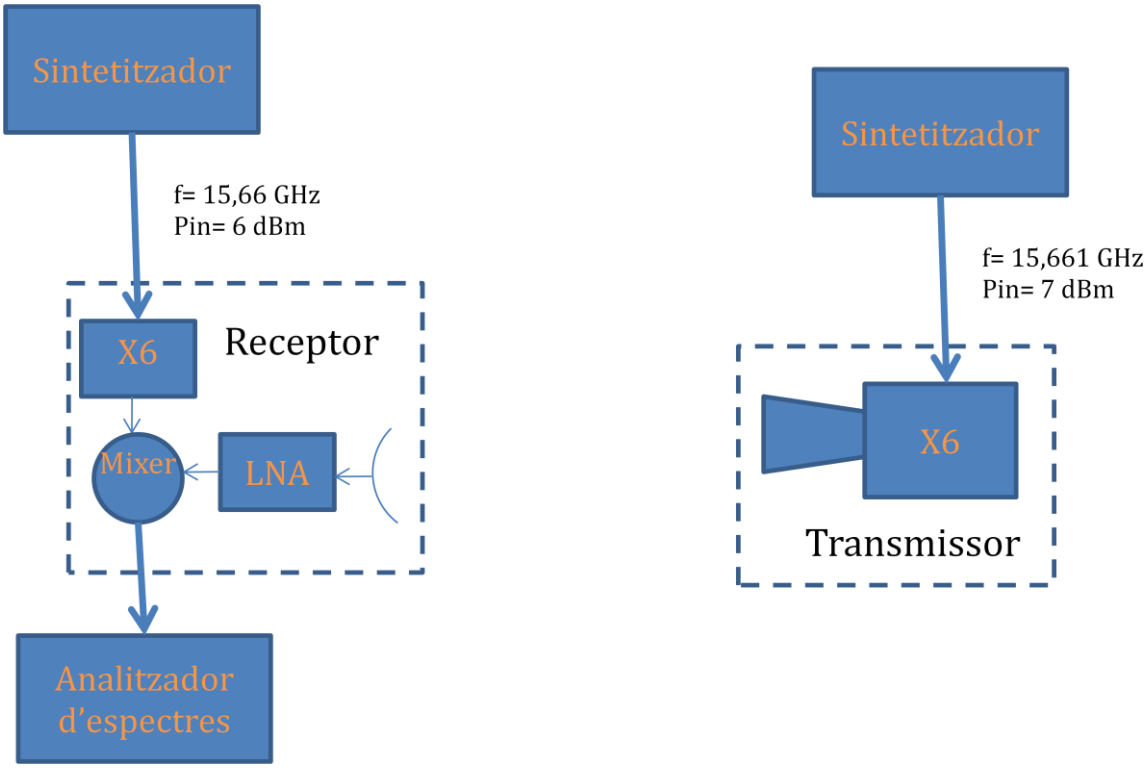


Figura 31: Esquema mesura guany antenes

Amb aquestes freqüències dels sintetitzadors, en l'analitzador d'espectres que tenim en recepció hauríem d'obtenir un senyal a 6 MHz, ja que aquesta diferència d'1 MHz que tenim entre el receptor i el transmissor al passar pel multiplicador per 6 del transmissor, la diferència passar a ser de 6 MHz.

Un cop ja està tot el sistema muntat i es veu la potència en l'analitzador, es va movent l'antena (variant posició i inclinació) i la posició dels alimentadors fins a obtenir la màxima potència (Figura 32). Aquest mateix procediment es va seguir per l'altra antena, per tal de què les dues antenes estiguessin ben apuntades.

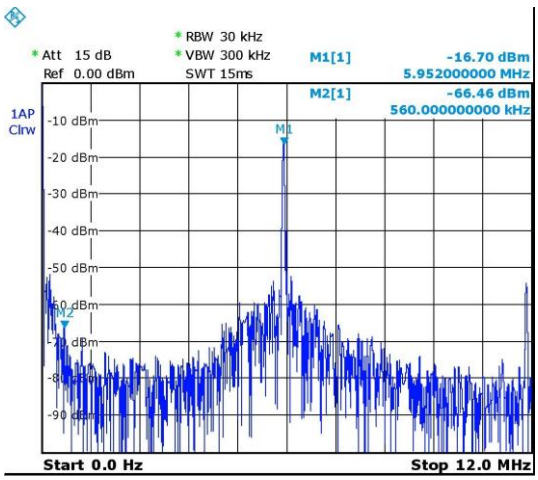


Figura 32: Potència amb antenes alineades

A més, com que es té el guany de l'antena transmissora i la potència en recepció, es pot obtenir una aproximació del guany de l'antena receptora. Tot i que el guany que s'obté no és massa realista, ja que l'antena no es troba en camp llunyà.

3.3.4. Caracterització de l'amplificador i els filtres en banda base

El circuit a caracteritzar està format per un amplificador, juntament amb un o dos filtres que han variat per a fer diferents mesures. Les mesures es realitzen utilitzant un sintetitzador amb un nivell de potència de -45 dBm que farà un escombrat en freqüència, i els resultats es veuran utilitzant un analitzador d'espectre. Per als filtres amb freqüència de tall elevada s'ha utilitzat un analitzador de xarxes per caracteritzar-los.

La primera caracterització consta d'un filtre passa alt a una freqüència de tall aproximadament de 8,91 MHz. Aquest filtre s'utilitza per a fer mesures a llarga distància, de manera que els blancs propers els atenua per tal d'evitar saturar el sistema. La caracterització del filtre es pot veure en la Figura 33.

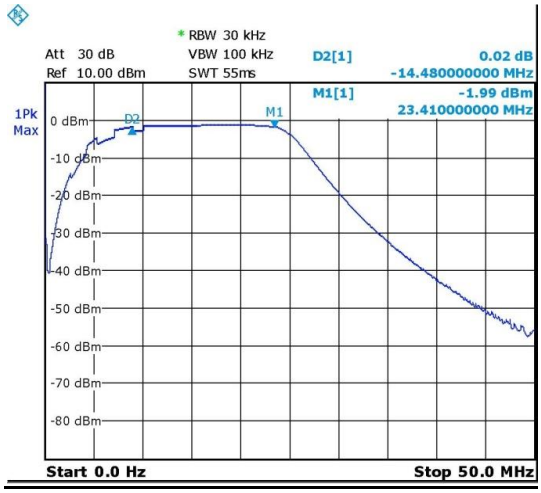


Figura 33: Resposta del filtre a 8,91 MHz

Com que li hem injectat una potència de -45 dBm i s'obté com a màxim una potència de 0 dBm, podem afirmar que el guany de l'amplificador és aproximadament de 45 dB.

També s'ha realitzat i caracteritzat un filtre passa alt amb una freqüència de tall de 500 KHz. Aquest filtre s'ha utilitzat per a fer mesures en edificis o objectes a no gaire distància.

Un altre filtre caracteritzat és el que té una freqüència de tall a 1,2 MHz (Figura 34). Aquest filtre s'ha realitzat en una altra placa de manera que es pot incorporar juntament amb un altre filtre i permet tenir diferents atenuacions per a certs rangs de distància. Un exemple d'aquesta unió de dos filtres és el resultat que es mostra en la Figura 35 en què tenim el filtre d'1,2 MHz i el filtre de 500 KHz.

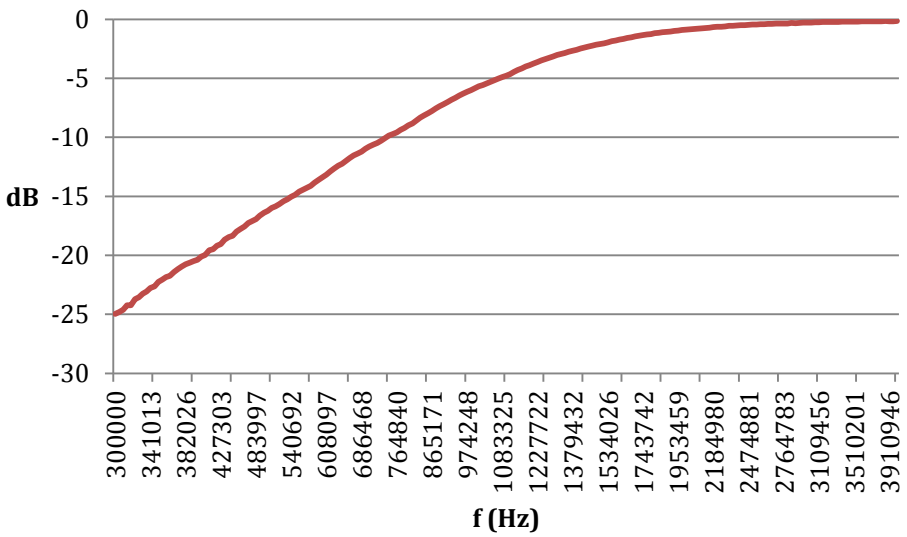


Figura 34: Resposta del filtre a 1,2 MHz

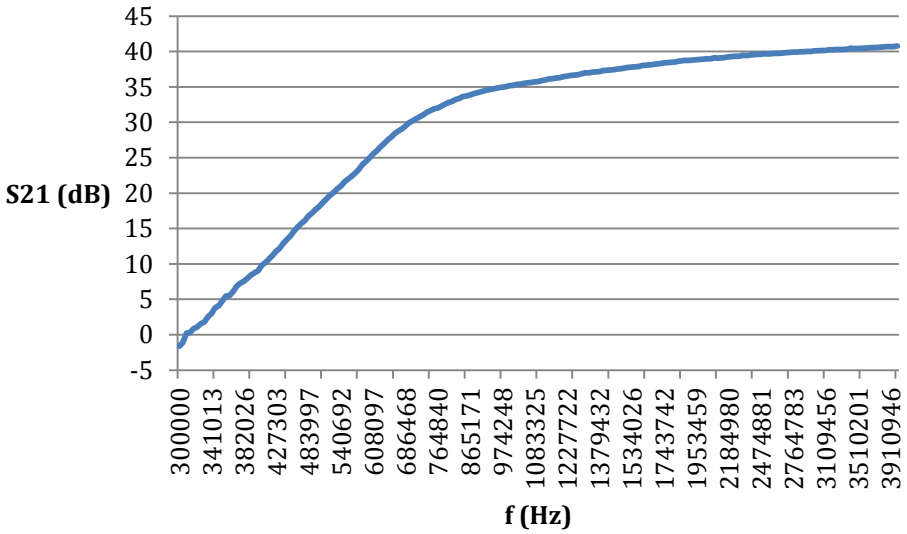


Figura 35: Paràmetre S21 filtres a 1,2 MHz i 500 KHz

3.4. Balanç de potència

A partir de les equacions de l'apartat 2.2, i especificant una SNR de 10 dB es fa un estudi de les reflectivitats que el nostre radar serà capaç de detectar.

Per a realitzar l'estudi s'han emprat les dades del radar mostrades en la Taula 6.

Paràmetres radar 94 GHz		
General	**Valor**	**Unitats**
Freqüència portadora	94	GHz

Longitud d'ona (λ)	3,2	mm
Eficiència il·luminació (ηil)	20%	
Àrea geomètrica	0,4	m^2
Guany antena	49	dB
Potència transmesa	-9	dBw
Temperatura equivalent	2210	K
Blancs puntuals / Blancs de superfície		
PRF (Pulse Repetition Frequency)	5	kHz
Amplada pols	0,1	GHz
Blancs Volumètrics		
PRF (Pulse Repetition Frequency)	20000/2440	Hz
Amplada pols	15000/13740	kHz
Constants		
c	3,0E+8	m/s
k	1,38E-23	J/K
T0	290	K

Taula 6: Paràmetres radar

En la Figura 36 es representa la reflectivitat mínima necessària que han de tenir els núvols per ha ser detectats quan es treballa amb una PRF de 2,44 KHz i una amplada de banda de 13,74 MHz, tenint en compte que el valor de $|K_w|^2$=0,93 i que es necessita una SNR de 10 dB.

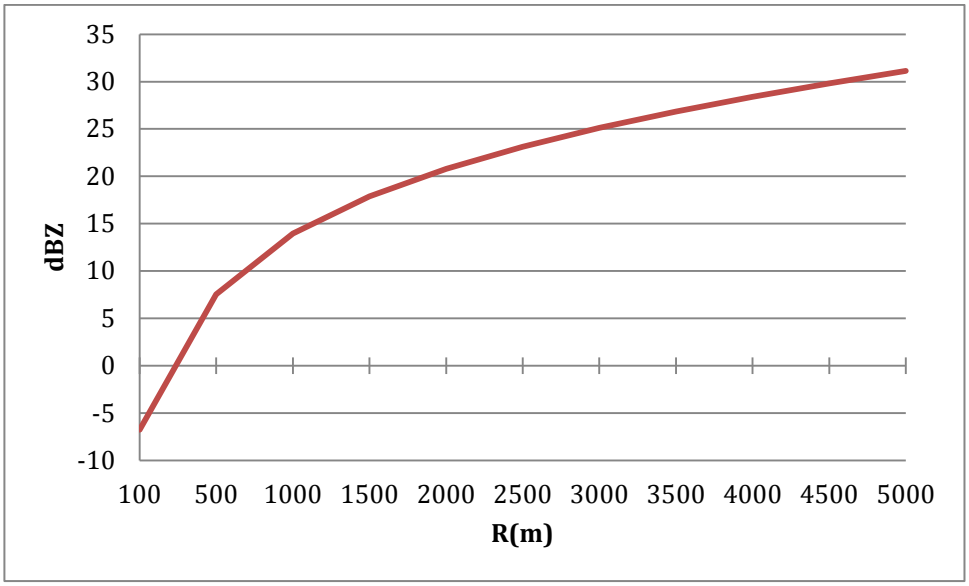


Figura 36: Reflectivitat detectable amb SNR mínima de 10 dB

Per tenir una idea de la magnitud d'aquesta gràfica cal mencionar la reflectivitat típica (en dBZ) que tenen els núvols a 94 GHz. En la Taula 7 es mostren la reflectivitat d'alguns tipus de núvols [1]. En funció de la dimensió de les partícules que formen els núvols, la seva distribució, etc. El valor de reflectivitat pot varia una mica, però la reflectivitat es trobarà al voltant d'aquests dBZ.

Tipus de núvols	Reflectivitat (dBZ)
Cirrus c	-54,82
Cúmulus	-31,26
Nimbostratus	-28,83
Altostratus	-19,08
Cirrus b	-8,15

Taula 7: Reflectivitats núvols

Tal com mostra la taula anterior, estem bastant lluny de poder detectar qualsevol tipus de núvol, per això en fer les mesures es fa una integració de polsos. La integració de polsos realitzada és una integració incoherent, ja que no es té en compte la fase. A més, com que els blancs estan en moviment, a causa de l'efecte Doppler la freqüència varia i tenir dades de fase no ajuda massa.

Si s'integra N polsos, el senyal augmenta amb un factor N, mentre que el soroll augmenta un factor √N aproximadament. En definitiva la SNR augmenta un factor √N. És a dir, si el senyal es multiplica per N i el soroll es multiplica per √N, en total tenim que la SNR es multiplica per un factor √N. Per exemple si en el cas de dues antenes s'integren 1000 polsos, s'obté el següent resultat (Figura 37):

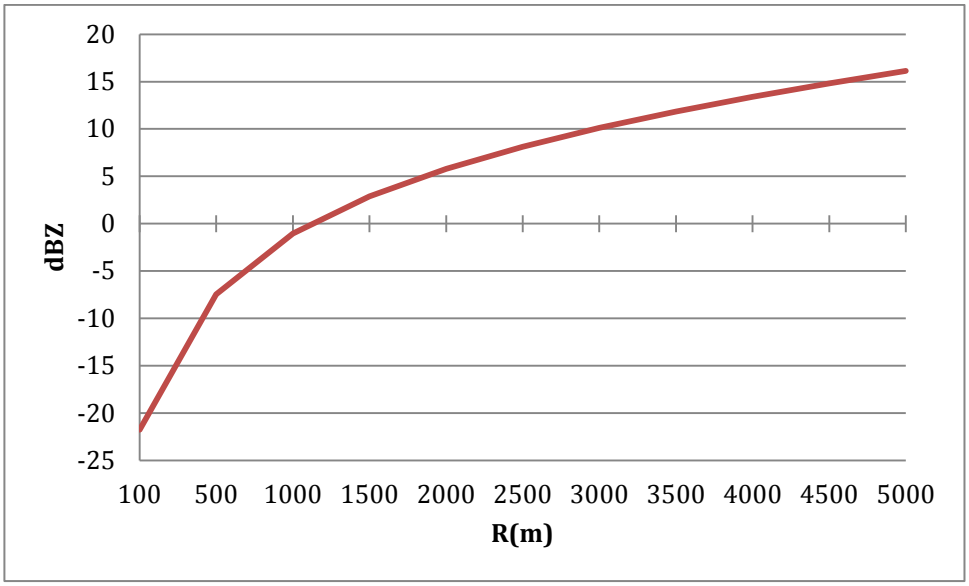


Figura 37: Reflectivitat detectable amb integració de 1000 polsos

Al fer integració de polsos és possible de detectar alguns núvols densos que es trobin a poca alçada. Però estem tots d'acord que s'ha d'intentar millorar aquesta gràfica per tal de poder detectar més varietat de núvols.

3.5. Resultats

El senyal capturat es digitalitza amb l'instrument PXI 5122, i després amb el matlab es processen les dades per millorar la relació senyal-soroll i es mostren per pantalla els resultats.

Les primeres mesures es basen en detectar un triedre situat al terrat del D5 (Figura 38), a uns 73 m de distància respecte del radar. S'utilitza un triedre, ja que té una alta reflectivitat. A més, el fet que es pugui moure amb facilitat ens permet assegurar que s'està detectant correctament. Ja que si es fa la mesura sense triedre i després es col·loca el triedre es pot veure el pic de freqüència que genera, i que abans no apareixia en la imatge (Figura 39).

Figura 38: Entorn de mesura

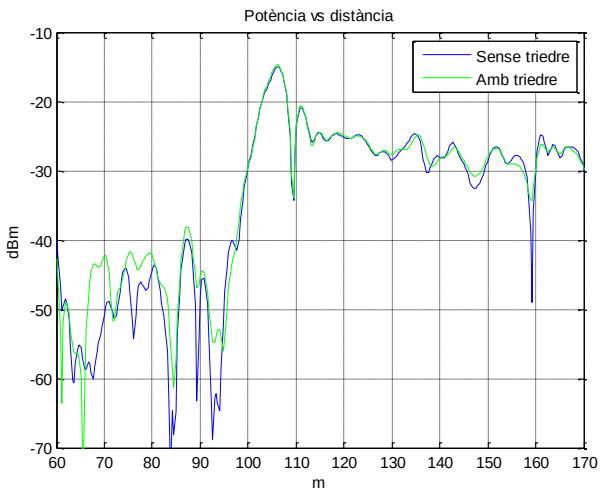


Figura 39: Mesura triedre

Tal com es pot veure en la Figura 39, les traces amb triedre i sense triedre són pràcticament iguals per a totes les distàncies, excepte a uns 70 m aproximadament. A 70 m hi ha una gran diferència entre les dues traces, així que es pot afirmar que s'ha detectat el triedre en aquest punt.

La següent mesura (Figura 40) es realitza apuntant cap al mateix lloc que abans, però amb la finalitat de detectar els diferents objectes que hi ha a l'entorn.

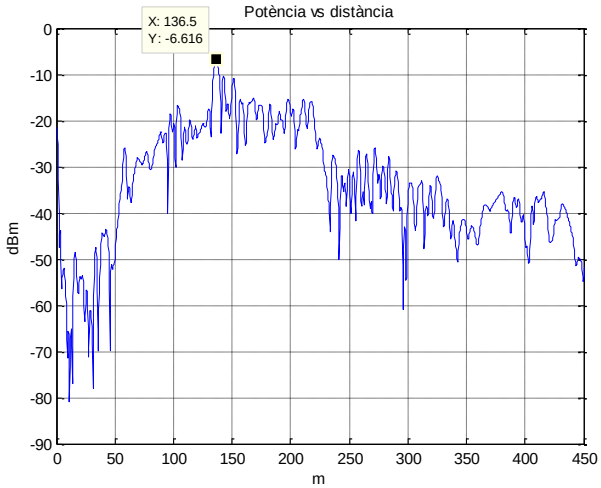


Figura 40: Mesura d'edificis

En la Figura 40 s'ha marcat la paret del D6 (marcador 1 de la Figura 41), ja que ens serveix de referència per analitzar la posició d'altres objectes. A part d'aquesta paret, a la distància de 104 m es pot observar l'estructura metàl·lica situada al terrat del D6 (marcador 2). També es pot identificar a la posició de 60 m un tros de la paret de l'edifici D5 (marcador 3). El punt A és des d'on es van realitzar les mesures.

Figura 41: Situació de blancs

Cal comentar que el radar detecta els blancs a una distància inferior a la que en realitat es troben. Per exemple, en la gràfica anterior s'ha detectat la paret a 136,5 m, però en realitat la paret del D6 es troba a 144 m de distància respecte del radar. Per tant, en aquest cas l'error de distància és de 7,5 m. El problema és que l'error comès pel radar no sempre és el mateix, sinó que varia amb la distància. Concretament té un error de 0,05 m per cada metre mesurat. És a dir, a major distància l'error és més gran. Per exemple si es detecta un blanc a 70 m, per saber a quina distància es troba el blanc en realitat només cal multiplicar 70 per 0,05 i es troba l'error. En aquest cas l'error és de 3,5 m i el blanc realment es troba a 73,5 m.

Un cop ja s'ha fet un calibratge del sistema i s'han detectat blancs propers. Es decideix detectar blancs a més distància. L'objectiu és detectar el turó d'en Cors (Figura 42). Les mesures obtingudes són les que es mostren en la Figura 43.

Figura 42: Turó d'en Cors

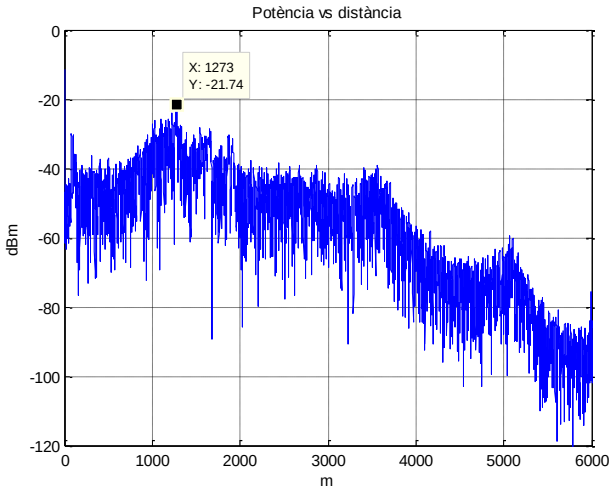


Figura 43: Mesures Turó

Finalment s'apunta el sistema cap al cel i es realitzen diferents mesures. Primerament es fa una mesura amb el cel sense presència de núvols per tenir una referència. Tot seguit ja es poden fer les mesures amb el cel ennuvolat. Si es comparen la mesura amb núvols amb la mesura sense núvols, s'obté el següent resultat (Figura 44). La mesura amb núvols es va realitzar just abans que comences a ploure, per tant els núvols eren bastant densos, a més es va realitzar una integració de 1000 polsos per millorar la SNR.

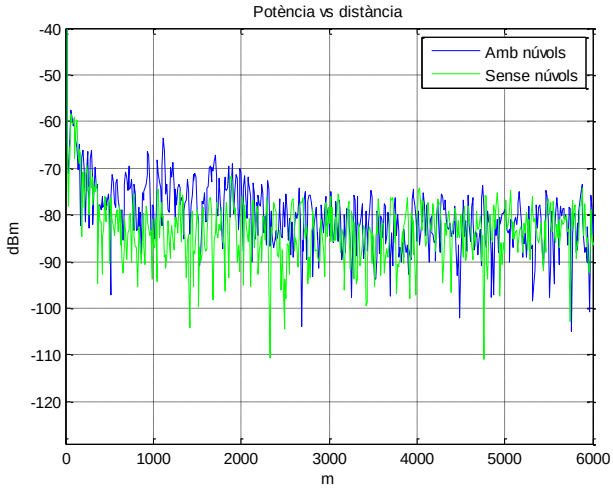


Figura 44: Mesura núvols

Si ens fixem en les mesures, es pot veure que entre els 600 m i els 2300 m es detecten núvols, ja que la potència rebuda està per sobre de la potència de referència. Si observem la potència dels núvols que es troben a la distància de 1400 m, la potència rebuda és de -72 dBm aproximadament. Aquesta potència correspon a uns núvols amb una reflexió de 19,6 dBZ.

Per poder detectar núvols menys densos es va utilitzar un digitalitzador que permetés fer una major integració de polsos. En concret es va utilitzar el digitalitzador PXI 5124 i es va fer una integració de 8000 polsos.

Malgrat aquest increment de polsos, se seguia sense poder detectar núvols amb menys densitat, ja que la relació senyal-soroll era tan baixa que per molt que s'integressin més polsos els resultats no milloraven.

3.6. Incidències

Al llarg del treball s'han detectat les següents incidències:

- Massa potència en el receptor. Saturació dels components.
- Freqüències espuri en l'analitzador d'espectres.
- Resultats poc satisfactoris.

La primera incidència es va detectar durant la realització dels tests de detecció del triedre i la detecció d'edificis. Al ser objectes que es trobaven a poca distància, arribava massa potència i els components de recepció se saturaven. Això feia que les mesures no fossin correctes. Aquest problema va sorgir perquè el sistema estava pensat per a fer mesures a llarga distància on les potències que es mesuren no són massa elevades. Per solucionar aquest problema, es va decidir posar un nou filtre abans de l'amplificador. D'aquesta manera el sistema ja no se saturava i les mesures eren més fiables.

El problema de les freqüències espuri que es veien en l'analitzador dificultava la detecció d'objectes propers a aquestes freqüències. Revisant el sistema es va poder veure que els espuris els generava un cable del DDS.

Durant els tests de detecció dels núvols va aparèixer un nou espuri que no s'havia detectat en els tests anteriors. El motiu de què no es detectés amb els tests anteriors es deu al fet que la potència d'aquest espuri era bastant baixa i quedava emmascarada pel soroll. Però durant la realització dels tests de detecció de núvols es va fer integració de polsos, de manera que la relació senyal-soroll augmentava fins al punt que l'espuri ja era apreciable. Després de fer diferents proves per mirar d'esbrinar qui era el causant d'aquell espuri es va poder observar que tornava a ser el DDS, en aquest cas era l'alimentació del DDS la que originava l'espuri. Per tal de solucionar aquest problema es va col·locar un condensador en l'alimentació del DDS que causava l'espuri.

A causa dels mals resultats obtinguts a l'hora d'apuntar les antenes i el baix guany que ens proporcionaven es va decidir canviar el disseny del sistema.

4. Millores en el radar de banda W

4.1. Propostes radar

A causa de l'alt valor de reflectivitat que el radar necessita per a detectar els blancs s'ha estudiat diferents millores. Bàsicament s'han plantejat tres opcions: una d'elles mantenint el radar amb dues antenes i les altres dues opcions amb un radar funcionant amb una única antena. A continuació s'explicaran amb més detall aquestes opcions.

4.1.1. Radar amb dues antenes:

En aquest cas, el sistema és el mateix que l'explicat en apartats anteriors. El que canvia és que s'ha invertit en comprar una antena Cassegrain amb un guany més elevat que la parabòlica de la firma Televés. Per tant, només caldria canviar l'antena parabòlica que hi ha en recepció per la Cassegrain i realitzar l'adaptació del sistema receptor en la nova antena.

4.1.2. Radar amb una sola antena:

L'esquema del sistema per una sola antena és el que es mostra en la Figura 45:

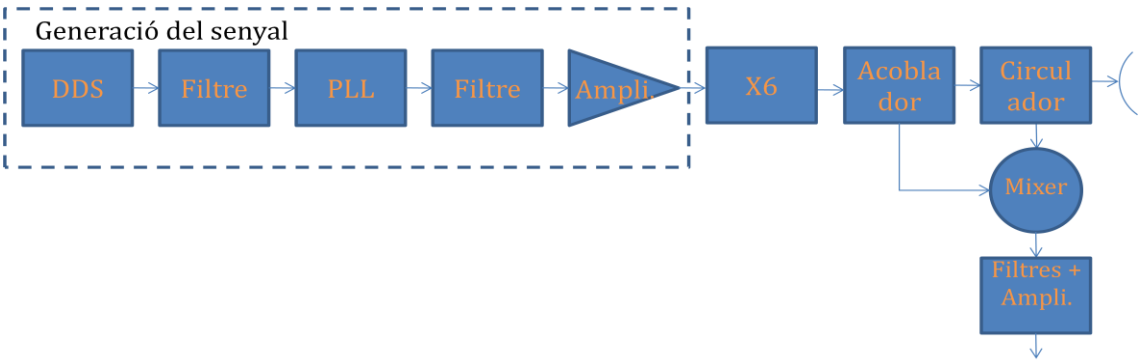


Figura 45: Diagrama de blocs radar amb una antena

El sistema de generació de senyal és el mateix per una antena que per dues, per això no és necessari tornar a explicar el seu funcionament. Per una antena el que canvia és que s'ha afegit un circulador que ens permet entregar el senyal a l'antena i al mateix temps, el senyal captat per l'antena se subministra al mesclador. Tal com es veu en la Figura 45, s'ha canviat el divisor de potència per un acoblador direccional. El motiu d'aquest canvi és que en multiplicar el senyal per 6 abans de dividir la potència, el senyal es troba a la freqüència de 94 GHz i el divisor de potència no és capaç de treballar a tan alta freqüència.

És important destacar que en aquest cas no es pot incloure el LNA per a reduir el factor de soroll. El motiu de no poder incloure el LNA és que el guany del LNA és de 26 dB, i l'aïllament dels circuladors sol ser de 15 dB aproximadament. Per tant, la potència transmesa saturaria el mesclador, ja que si transmetem 7 dBm li estaríem entrant una potència de 18 dBm.

Una altra opció de disseny pel sistema amb una antena és el mostrat a continuació (Figura 46):

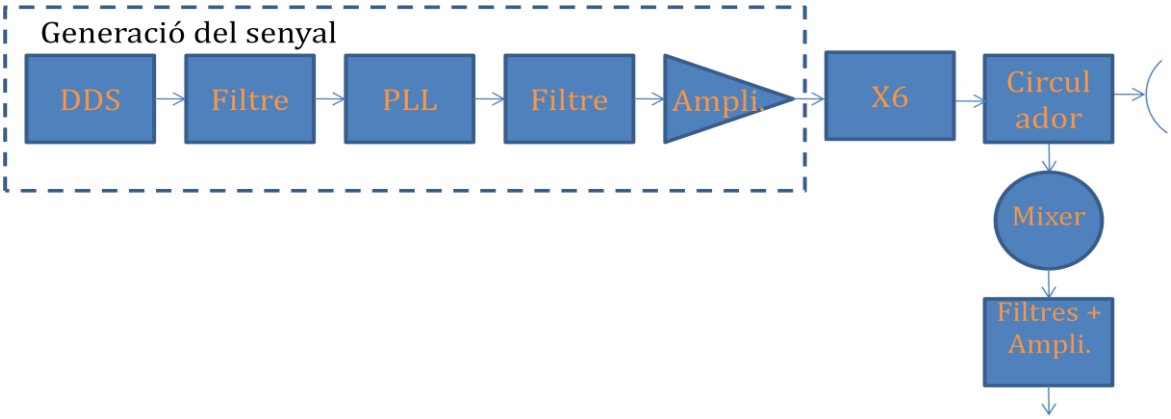


Figura 46: Diagrama de blocs radar amb una antena i sense acoblador

En aquest cas el funcionament és igual que l'anterior amb la peculiaritat de què el mesclador és del tipus 'single ended'. Aquest tipus de mesclador permet que les dues entrades s'injectin pel mateix port. Gràcies a aquest tipus de mesclador, l'acoblador direccional ja no és necessari. Com que la potència transmesa és superior a l'aïllament del circulador hi ha una part de la potència transmesa que s'injecta al mesclador i això permet que el sistema pugui funcionar. Tot i això, tal com s'ha explicat abans, no és possible incorporar el LNA, ja que si no saturaríem el mesclador.

4.2. Estudi de les diferents opcions

En aquest apartat s'analitzaran les corbes de reflectivitat per als diferents esquemes del radar per tal de decidir quina és la millor opció. Per poder comparar aquests resultats amb els del sistema original es mantindran les mateixes especificacions. És a dir, que es treballa amb una PRF de 2,44 KHz i una amplada de banda de 13,74 MHz, que el valor de $|K_w|^2$=0,93 i que es necessita una SNR de 10 dB.

Pel cas de dues antenes on l'antena transmissora és una parabòlica i l'antena receptora és una Cassegrain s'obté una corba com la de la Figura 47. Els paràmetres del sistema són els mateixos que els de la Taula 6, només cal variar el guany de l'antena receptora (56 dB).

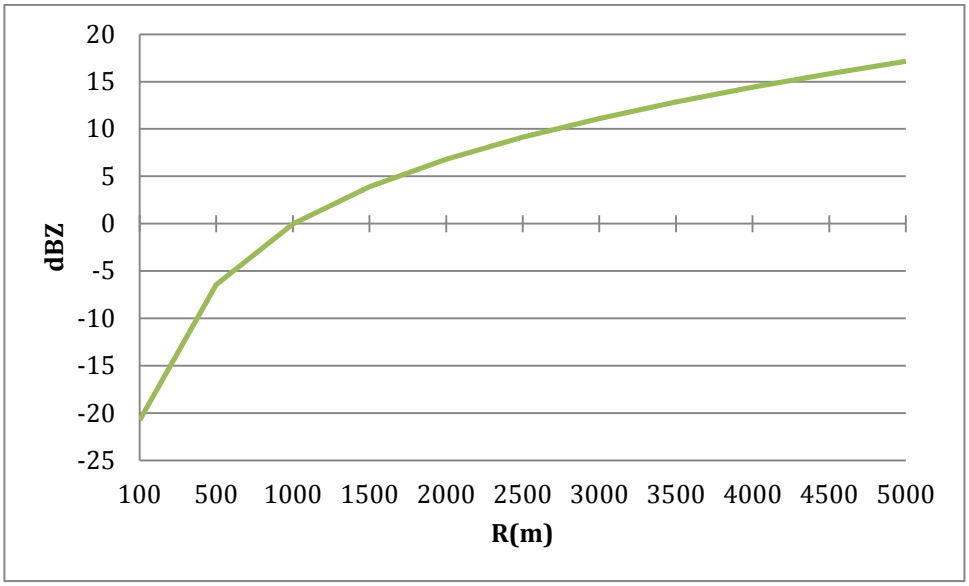


Figura 47: Reflectivitat detectable pel cas d'una antena parabòlica i una antena Cassegrain

Amb una única antena Cassegrain i tenint en compte les dades de la Taula 8. Teòricament s'haurien d'obtenir uns resultats similars al de la Figura 48.

General	**Valor**	**Unitats**
Freqüència portadora	94	GHz
Longitud d'ona (λ)	3,2	mm
Eficiència il·luminació (ηil)	20%	
Àrea geomètrica	0,7	m^2
Guany antena	56	dB
Potència transmesa	-9	dBw
Temperatura equivalent	6000	K
Blancs puntuals / Blancs de superfície		
PRF (Pulse Repetition Frequency)	5	kHz
Amplada pols	0,1	GHz
Blancs Volumètrics		
PRF (Pulse Repetition Frequency)	20000/2440	Hz

Amplada pols	15000/13740	kHz
Constants		
c	3,00E+08	m/s
k	1,38E-23	J/K
T0	290	K

Taula 8: Paràmetres radar amb una única antena Cassegrain

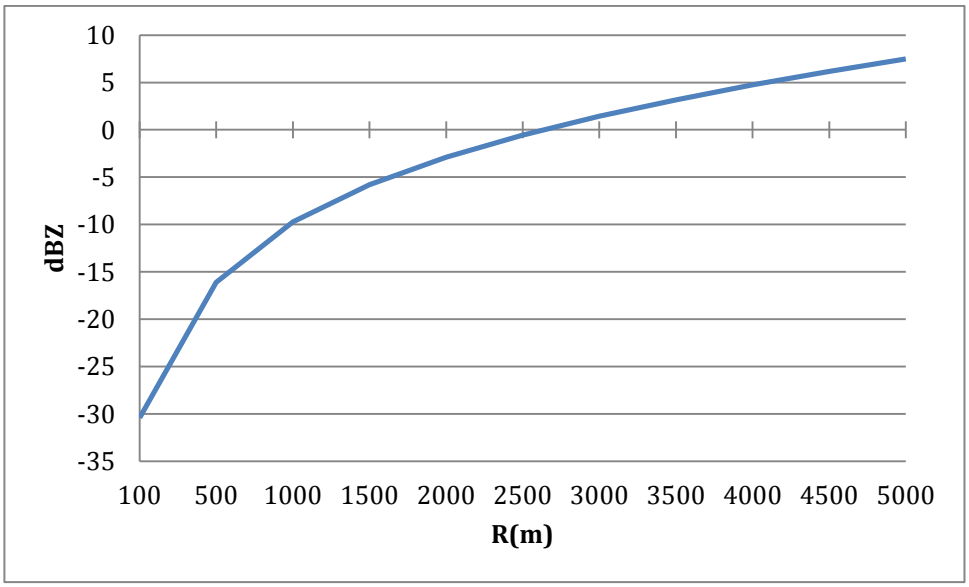


Figura 48: Reflectivitat detectable pel cas amb una única antena Cassegrain

Un cop s'han analitzat els mètodes per separat, es pot fer una gràfica amb els tres mètodes per a fer una millor comparació (Figura 49).

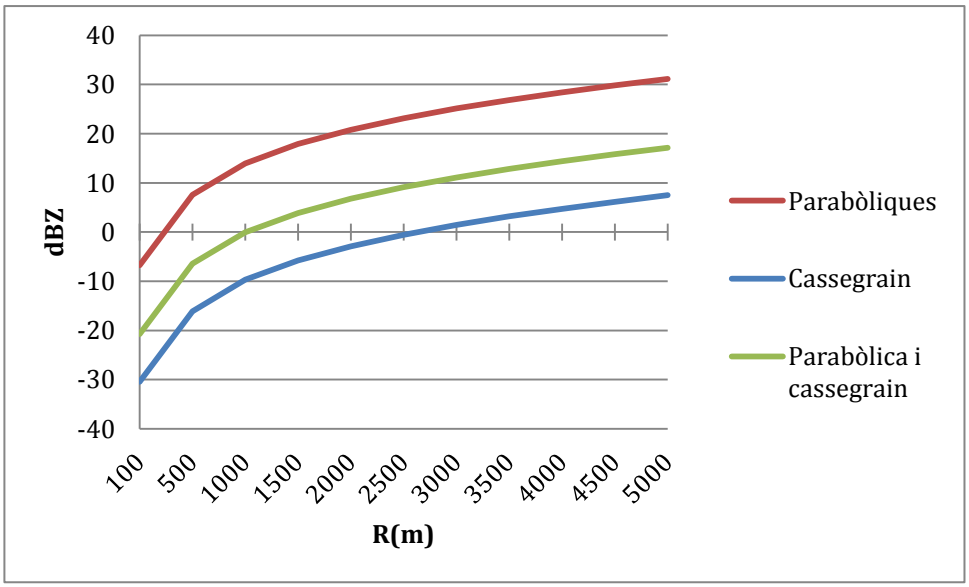


Figura 49: Comparació reflectivitats detectables

Tal com es pot veure en la gràfica anterior, a uns 1000 m d'altitud amb el sistema que es té actualment, es necessiten núvols amb reflectivitats superiors a 10 dBZ. Els núvols amb aquestes reflectivitats són els núvols de pluja, però el radar encara no està adaptat per a fer mesures mentre està plovent. En canvi, pels altres dos casos ja es podrien detectar alguns núvols, tot i que haurien de ser núvols bastant densos.

Per millorar aquests resultats es pot fer una integració de polsos. Per exemple, amb una integració de 1000 polsos, s'obtenen els resultats següents (Figura 50):

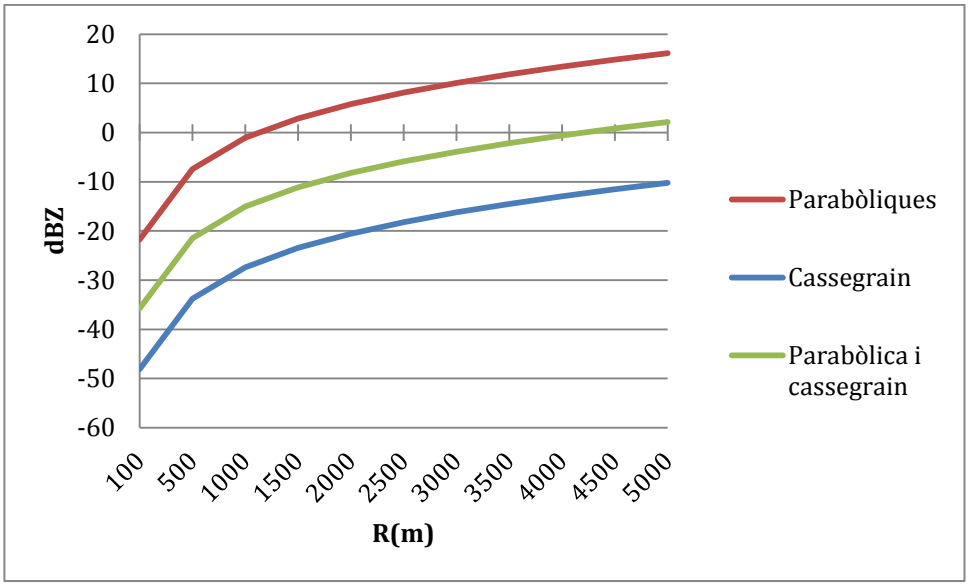


Figura 50: Comparació reflectivitats detectable amb integració de polsos

Fent integració de polsos amb les dues antenes parabòliques es poden començar a veure núvols densos a uns 1000 m. Però la gran majoria de núvols no es detectaran, per això aquests resultats encara no són massa bons. Pel radar amb una antena parabòlica i una Cassegrain ja es podrien veure bastant tipus de núvols. Tot i que pel radar amb una antena Cassegrain, ja gairebé podríem veure la majoria de núvols.

Un cop s'han vist aquests resultats es pot concloure que el millor esquema radar és el d'una antena Cassegrain. Ja que ens permet detectar la majoria dels núvols.

5. Pressupost

Maquinari

Component	Model	Fabricant	Cost
C.I. DDS	AD9858	Analog Devices	200 €
C.I. PLL	HMC703	Analog Devices	795 €
Amplificador	ZX60-183+	Minicircuit	176 €
Divisor de potència	4316-2	Narda	225 €
Multiplicador per 6 (receptor)	FMA-92020615-01	Ducommun	3790 €
Multiplicador per 6 (transmissor)	936W94-10/387	Miwave	3790 €
Mesclador	MXP-10-RSSSL	Millitech	1540 €
LNA	HLNAW-241	HXI	-
Amplificador	AMP-10-10030	Millitech	9900 €
Ventilador			10 € (2 unitats)
Antenes	7536	Televes	76 € (2 unitats)
Arduino	Uno		23 €
Digitalitzador	PXI-5122	National Instruments	27000 €
Altres materials (cablejat, connexions, estructura radar...)			3000 €
Total			**50525 €**

Taula 9: Preus del maquinari

Programari

Programa	Cost
Matlab	2000 €
Visual Studio	1337 €
Total	**3337 €**

Taula 10: Preus del programari

6. Conclusions i línies futures

En aquest projecte s'ha fet una caracterització d'un radar meteorològic que treballa a 94 GHz, s'han realitzat diferents mesures per comprovar el funcionament del radar i s'han realitzat algunes millores que s'han pogut observar durant la realització de les mesures.

Durant la caracterització dels diferents components que formen el radar s'ha pogut observar que les dades proporcionades pel fabricant eren bastant optimistes, i en molts casos els resultats obtinguts tenien uns valors inferiors als que s'esmentaven en les especificacions. Per exemple, la potència de sortida del multiplicador per 6 del transmissor era inferior i els guanys dels amplificadors no sempre donaven el seu màxim rendiment. Aquests petits canvis feien que les previsions realitzades amb anterioritat variessin, i per tant s'havien de refer els càlculs.

Un altre fet important detectat té a veure amb les antenes. Les antenes que utilitzàvem estaven dissenyades per treballar a freqüències properes als 12 GHz. Nosaltres les fèiem treballar a 94 GHz, a aquesta freqüència el guany de les antenes divergia molt del guany teòric calculat. A més, durant les proves realitzades a l'exterior un petit moviment en les antenes feia variar molt la potència mesurada amb l'analitzador d'espectres. Fins i tot quan bufava una mica de vent i movia una mica les antenes, la potència es veia afectada considerablement. Això feia bastant difícil obtenir un bon alineament de les antenes, i conseqüentment les mesures es veien afectades.

A part d'aquests problemes esmentats, durant les mesures es van observar algunes freqüències espuris que provenien del sistema que alimentava els components. Aquestes freqüències espuris es van poder eliminar o disminuir el seu impacte millorant el sistema d'alimentació dels components.

Per últim, cal mencionar un problema que afecta al PLL. Quan es posava en marxa el sistema, moltes vegades el PLL no funcionava correctament i s'havia de des alimentar alguns components i tornar-los a connectar per a què el PLL funcionés. S'havia de fer una seqüència concreta per a què funcionés, però depenia dels segons que trigaves a alimentar els components, i això no és fàcil de controlar manualment.

En les mesures de blancs estàtics es va realitzar un primer calibratge del radar, per a saber l'error entre la distància dels blancs que detectem i la posició real a la qual es troben.

En les mesures de blancs en moviment, malgrat els problemes esmentats anteriorment, es va poder aconseguir detectar certs núvols, amb densitat elevada i a poca alçada. A més, gràcies a la caracterització del sistema i als problemes detectats en les mesures s'ha pogut conèixer que és el que falla i ja s'han proposat alguns esquemes que permetran obtenir millors resultats.

En conclusió podem dir que tot i que gran part dels núvols no es detecten, saber que es poden detectar núvols ja és un gran pas. Perquè significa que el radar funciona i només cal realitzar certes millores per a què funcioni per a tot tipus de núvols.

Aquest radar no fa massa que es va posar en funcionament, per això encara està en fase de millora. Durant el transcurs del projecte s'han anat identificant diferents problemes i millores. Per això, a continuació es defineixen diferents propostes per tal de millorar el funcionament del radar:

- Millorar l'alimentació del radar.
- Millorar l'estructura del sistema per tal de poder-lo transportar amb més facilitat.
- Implementar el radar amb una nova antena amb millors prestacions, per tal de detectar més varietat de núvols.
- Realitzar un calibratge més exhaustiu.
- Millorar la posada en marxa del sistema.
- Incorporar estructura que tapi el circuit d'alimentació, per protegir-lo de la pluja.
- Realitzar mesures de velocitat.
- Millorar el circuit del DDS per fer més fàcil el canvi de mode de funcionament.

A part d'aquestes propostes se'n poden identificar d'altres, o fins i tot millorar-les amb unes tecnologies més noves. Ja que avui dia el tema radar és una branca de la tecnologia bastant estudiada, i cada vegada es van descobrint diferents maneres per tal de millorar les prestacions dels radars.

Bibliografia

[1] F. Prodi, R. Medini, A. Battaglia, O. Sturniolo. “Radar parameters calculations for Γ distribution of cloud particles in single scattering approximation”, *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 24, No. 3, pp. 213-218, 1998.

[2] R. Lhermitte. “A 94-GHz Doppler Radar for Cloud Observations”, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 4, pp. 36-48, 1987.

[3] R. Lhermitte. “Cloud and precipitation remote sensing at 94 GHz”. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* Vol. 26, No 3, pp. 1069–1089, 1988.

[4] Kenneth J. Button, James C. Wiltse. *Infrared and Millimeter Waves V4: Millimeter Systems*, Academic Press, 1981.

[5] Merrill I. Skolnik. *Radar handbook*, McGraw-Hill, 1990.

[6] R. J. Doviak, D. S. Zrnic. *Doppler radar and weather observations*, 2nd ed. San Diego, Academic Press, 1993.

[7] Wang, Pao K. *Physics and Dynamics of Clouds and Precipitation,* Cambridge University Press, 2013.

[8] *Manual ITU/OMM. “Utilización del espectro radioeléctrico en meteorología: Observación y predicción del clima, de los fenómenos meteorológicos y de los recursos hídricos”.*

[9] M. A. Richards. “Notes on Noncoherent Integration Gain”. *College of Engineering*, 2014. [Online] Available:http://users.ece.gatech.edu/mrichard/Notes%20on%20Noncoherent%20Integration%20Gain.pdf. [Accessed: 23 maig 2016].

[10] Yanfang Zhu. “Radar en Banda W (94GHz) para aplicaciones meteorológicas”. TFG, ETSETB, UPC, Barcelona, 2015.

Apèndix A: Paquets de treball

Paquets de treball

Projecte: Documentació	WP ref: WP1	
Major constituent:	Pàgina 1 de 18	
Descripció breu: Buscar informació i documentar-me sobre el tema radar.	Data d'inici prevista: 28-12-2015 Data de finalització prevista: 31-1-2016	
	Inici d'esdeveniment: 28-12-2016 Fi de l'esdeveniment: 31-1-2016	
Tasca interna T1: Buscar informació. Tasca interna T2: Documentar-me.	Entregues:	Dates:

Projecte: Anàlisis sistema radar	WP ref: WP2	
Major constituent:	Pàgina 2 de 18	
Descripció breu: Analitzar el sistema i comprendre el seu funcionament.	Data d'inici prevista:1-2-2016 Data de finalització prevista:3-2-2016	
	Inici d'esdeveniment: 1-2-2016 Fi de l'esdeveniment: 3-2-2016	
Tasca interna T1: Detectar els diferents components que formen el radar. Tasca interna T2: Saber la funció que fa cada component.	Entregues: Full amb potències d'entrada dels components i les seves	Dates: Primera setmana de febrer.

Tasca interna T3: Investigar els components (Llegir datasheets). Tasca interna T4: Comprovar que tots els sistemes estiguin ben alimentats.	alimentacions.	

Projecte: Link budget	WP ref: WP3	
Major constituent: Simulacions	Pàgina 3 de 18	
Descripció breu: Fer una previsió de la distància a la qual el nostre sistema és capaç de detectar blancs, quin tipus de blancs és capaç de detectar...	Data d'inici prevista: 4-2-2016 Data de finalització prevista: 16-2-2016 Inici d'esdeveniment: 4-2-2016 Fi de l'esdeveniment: 16-2-2016	
Tasca interna T1: Recopilar totes les característiques del sistema. Tasca interna T2: Fer els càlculs. Tasca interna T3: Analitzar els resultats, en funció dels requeriments del sistema.	Entregues: Full Excel amb les característiques i els resultats.	Dates: Tercera setmana de febrer.

Projecte: Mesures senyal	WP ref: WP4
Major constituent: Maquinari	Pàgina 4 de 18
Descripció breu: Comprovar que el senyal obtingut en diferents trams del sistema de generació de senyal és correcte.	Data d'inici prevista: 17-2-2016 Data de finalització prevista: 18-2-2016 Inici d'esdeveniment: 17-2-2016 Fi de l'esdeveniment: 18-2-2016

Tasca interna T1: Mesurar amb l'analitzador d'espectres el senyal dels diferents components. Tasca interna T2: Mirar en quin mode està operant el sistema. Mesurar el PRF i l'amplada de banda del senyal. Tasca interna T3: Comprovar que la potència d'entrada dels components és la correcta. Tasca interna T4: Reparar possibles problemes en la potència d'entrada dels components.	Entregues:	Dates:

Projecte: Mesurar potències	WP ref: WP5	
Major constituent: Maquinari	Pàgina 5 de 18	
Descripció breu: Mesurar les potències subministrades pels components del transmissor i receptor.	Data d'inici prevista: 19-2-2016 Data de finalització prevista: 26-2-2016	
	Inici d'esdeveniment: 19-2-2016 Fi de l'esdeveniment: 26-2-2016	
Tasca interna T1: Mesurar potència del transmissor. Tasca interna T2: Mesurar potència del receptor.	Entregues:	Dates:

Projecte: Proposta de TFG i Pla de Treball	WP ref: WP6
Major constituent:	Pàgina 6 de 18
Descripció breu:	Data d'inici prevista: 22-2-2016

Realitzar el document Proposta de TFG i Pla de Treball	Data de finalització prevista: 28-2-2016 Inici d'esdeveniment: 23-2-2016 Fi de l'esdeveniment: 1-3-2016	
Tasca interna T1: Escriure el document. Tasca interna T2: Revisar el document.	Entregues: Document Proposta de TFG i Pla de Treball	Dates: Primera setmana de març.

Projecte: Canviar mode funcionament	WP ref: WP7	
Constituent principal: Maquinari	Pàgina 7 de 18	
Descripció breu: Canviar el mode de funcionament del sistema a PRF=5 KHz i ΔB=100 MHz. I conèixer que s'ha de canviar pels altres mètodes.	Data d'inici prevista: 24-3-2016 Data de finalització prevista: 29-3-2016 Inici d'esdeveniment: 29-2-2016 Fi d'esdeveniment: 2-3-2016	
Tasca interna T1: Analitzar circuit DDS i el seu datasheet. Tasca interna T2: Variar el circuit. Tasca interna T3: Comprovar que els canvis s'hagin realitzat correctament.	Entregues:	Dates:

Projecte: Filtre sortida	WP ref: WP8
Constituent principal: Prototip maquinari	Pàgina 8 de 18
Descripció breu:	Data d'inici prevista: 29-2-2016

Obtenir la resposta del filtre per a les diferents freqüències. Variar el filtre en cas que sigui necessari. I tornar-lo a caracteritzar.	Data de finalització prevista: 23-3-2016 Inici d'esdeveniment: 2-3-2016 Fi d'esdeveniment: 4-3-2016	
Tasca interna T1: Caracteritzar el filtre. Tasca interna T2: Dissenyar els nous filtres (bobina, condensador). Tasca interna T3: Modificar el circuit. Tasca interna T4: Caracteritzar els nous filtres.	Entregues: Caracteritzacions dels filtres.	Dates: Primera setmana de març.

Projecte: Codi	WP ref: WP9	
Constituent principal: Programari	Pàgina 9 de 18	
Descripció breu: Crear codi per a poder processar les dades captades i utilitzar matlab per mostrar dades.	Data d'inici prevista: 30-3-2016 Data de finalització prevista: 14-4-2016 Inici d'esdeveniment: 5-3-2016 Fi d'esdeveniment: 10-3-2016	
Tasca interna T1: Codi per captar dades. Tasca interna T2: Crear codi matlab per mostrar les dades capturades. Tasca interna T3: Crear GUI per a fer més fàcil el processament de les dades.	Entregues: Codi en matlab.	Dates: Segona setmana de març.

Projecte: Calibratge sistema radar	WP ref: WP10	
Constituent principal: Maquinari	Pàgina 10 de 18	
Descripció breu: Caracteritzar els alimentadors i les antenes, millorar l'alineament de les antenes, fer un calibratge del radar.	Data d'inici prevista: 19-4-2016 Data de finalització prevista: 2-5-2016	
	Inici d'esdeveniment: 9-3-2016 Fi d'esdeveniment: 4-4-2016	
Tasca interna T1: Caracterització de les antenes. Tasca interna T2: Caracterització dels alimentadors. Tasca interna T3: Millorar l'alineament de les antenes. Tasca interna T4: Calibratge radar.	Entregues:	Dates:

Projecte: Tests	WP ref: WP11	
Constituent principal: Tests	Pàgina 11 de 18	
Descripció breu: Detectar triedre a diferents distàncies, detectar edificis, detectar muntanyes, detectar núvols.	Data d'inici prevista: 3-5-2016 Data de finalització prevista: 17-5-2016	
	Inici d'esdeveniment: 15-3-2016 Fi d'esdeveniment: 27-4-2016	
Tasca interna T1: Detectar triedre. Tasca interna T2: Detectar edificis. Tasca interna T3:	Entregues: Mesures edificis, muntanyes.	Dates: Cinquena setmana d'abril.

Detectar muntanyes. Tasca interna T4: Detectar núvols.		

Projecte: Caracterització sistema una antena	WP ref: WP12	
Constituent principal: Maquinari	Pàgina 12 de 18	
Descripció breu: Caracteritzar els components, comparar els valors amb el que diu el fabricant. Per a saber exactament les pèrdues dels components, les potències de sortida de cada component...	Data d'inici prevista: 1-4-2016 Data de finalització prevista: 4-4-2016 Inici d'esdeveniment: 1-4-2016 Fi d'esdeveniment: 4-4-2016	
Tasca interna T1: Caracteritzar els components. Tasca interna T2: Comparar els resultats mesurats amb els teòrics.	Entregues:	Dates:

Projecte: Link budget sistema amb una antena	WP ref: WP13	
Constituent principal: Simulacions	Pàgina 13 de 18	
Descripció breu: Fer una previsió de la distància a la qual el nostre sistema és capaç de detectar blancs, quin tipus de blancs és capaç de detectar...	Data d'inici prevista: 23-3-2016 Data de finalització prevista: 31-3-2016 Inici d'esdeveniment: 1-4-2016 Fi d'esdeveniment: 27-4-2016	
Tasca interna T1: Recopilar totes les característiques dels components. Tasca interna T2: Fer els càlculs. Tasca interna T3:	Entregues: Full Excel amb les característiques i els resultats.	Dates: Tercera setmana d'abril.

Analitzar els resultats, en funció dels requeriments del sistema.		

Projecte: Revisió critica	WP ref: WP14	
Constituent principal:	Pàgina 14 de 18	
Descripció breu: Redactar el document Revisió Crítica.	Data d'inici prevista: 27-4-2016 Data de finalització prevista: 8-5-2016	
	Inici d'esdeveniment: 27-4-2016 Fi d'esdeveniment: 9-5-2016	
Tasca interna T1: Escriure el document. Tasca interna T2: Revisar el document.	Entregues: Revisió Crítica	Dates: 9-5-2016

Projecte: Millorar sistema radar	WP ref: WP15	
Major constituent: Maquinari	Pàgina 15 de 18	
Descripció breu: Implementar possibles millores. Com per exemple incorporar un amplificador de potència.	Data d'inici prevista: 10-5-2016 Data de finalització prevista: 18-5-2016	
	Inici d'esdeveniment: 10-5-2016 Fi de l'esdeveniment: 18-5-2016	
Tasca interna T1: Afegir amplificador. Tasca interna T2: Reforçar el sistema.	Entregues:	Dates:

Tasca interna T3: Altres millores.		

Projecte: Reparar	WP ref: WP16	
Major constituent: Maquinari	Pàgina 16 de 18	
Descripció breu: Arreglar possibles problemes que hagin pogut sorgir durant els tests, i comprovar el correcte funcionament del sistema.	Data d'inici prevista: 18-5-2016 Data de finalització prevista: 23-5-2016	
	Inici d'esdeveniment: 18-5-2016 Fi de l'esdeveniment: 23-5-2016	
Tasca interna T1: Reparar problemes. Tasca interna T2: Comprovar el funcionament.	Entregues:	Dates:

Projecte: Mesures	WP ref: WP17	
Major constituent: Mesures	Pàgina 17 de 18	
Descripció breu: Realitzar noves mesures després de les millores realitzades i un cop s'han reparat els problemes detectats en tests anteriors.	Data d'inici prevista: 23-5-2016 Data de finalització prevista: 13-6-2016	
	Inici d'esdeveniment: 23-5-2016 Fi de l'esdeveniment: 13-6-2016	
Tasca interna T1: Mesures muntanyes. Tasca interna T2:	Entregues: Dades núvols.	Dates: Cinquena setmana de maig.

Mesures núvols.		

Projecte: Memòria	WP ref: WP18	
Major constituent:	Pàgina 18 de 18	
Descripció breu: Redactar la memòria.	Data d'inici prevista: 20-5-2016 Data de finalització prevista: 27-6-2016	
	Inici d'esdeveniment: 20-5-2016 Fi de l'esdeveniment: 27-6-2016	
Tasca interna T1: Redactar la memòria Tasca interna T2: Revisar la memòria.	Entregues: Memòria	Dates: 27-6-2016

Apèndix B: Informació per canviar mode funcionament

Aquest apèndix s'ha realitzat per a facilitar la feina a les persones que continuïn desenvolupant aquest projecte. Bàsicament s'explica el que s'ha de fer per a canviar de mode de funcionament.

Per canviar l'amplada de banda s'ha de tocar el component PIC18F4520 situat en el circuit DDS.

En funció del mode amb el qual es vulgui treballar s'ha de situar les connexions que es comenten a continuació:

- Amplada de banda de 15 MHz
  S'ha de situar a massa els pins 26 i 27
- Amplada de banda de 13,74 MHz
  S'ha de situar a massa el pin 27 i el pin 26 a alimentació.
- Amplada de banda de 100 MHz
  S'ha de situar a massa el pin 26 i el pin 27 a alimentació.

La configuració dels pins és la que es mostra en la imatge següent:

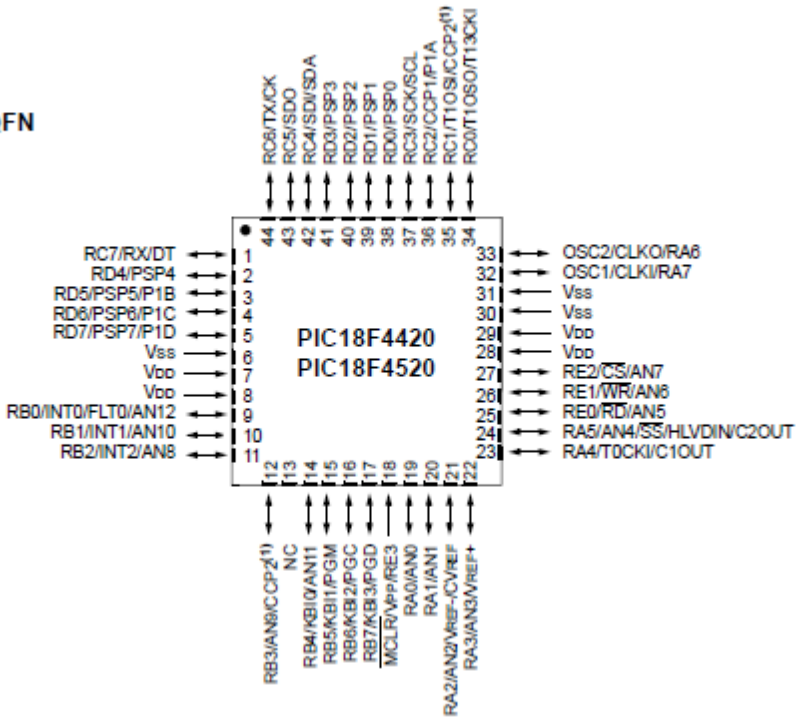


Figura 51: Pins PIC18F4520

Si ens fixem en el circuit el procediment que s'ha de realitzar és el següent:

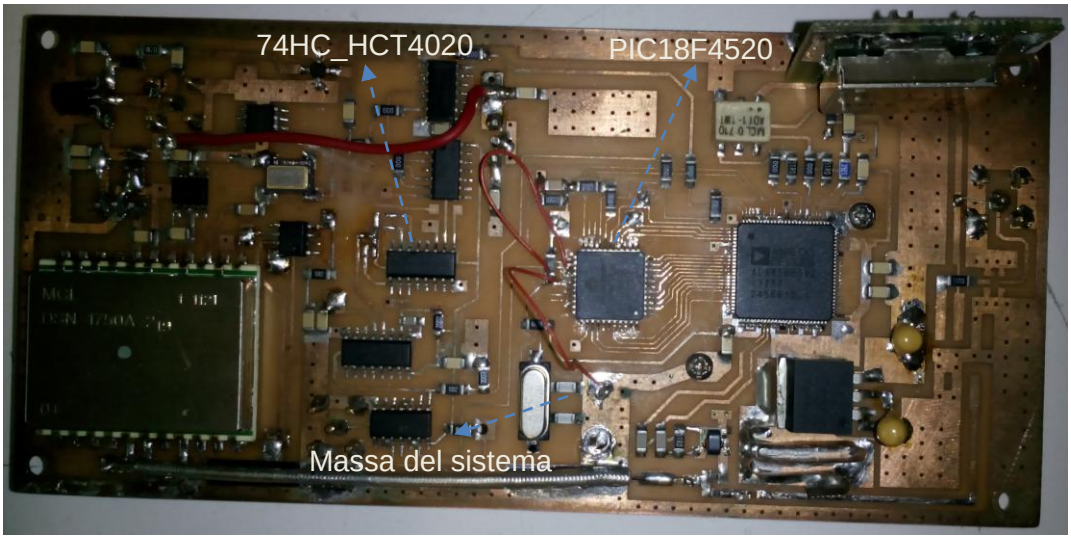


Figura 52: Circuit DDS

Els cables vermells que surten del PIC18F4520 estan connectats als pins 26 i 27, per tant només cal connectar-los a massa o a una tensió positiva en funció del mode al qual es vol treballar.

Per canviar la PRF s'ha de variar les connexions del CMOS 74HC_HCT4020. El funcionament d'aquest component bàsicament es basa en un factor divisor per 2 en funció del pin seleccionat. En la figura següent es pot veure el factor divisor que aplica cada pin.

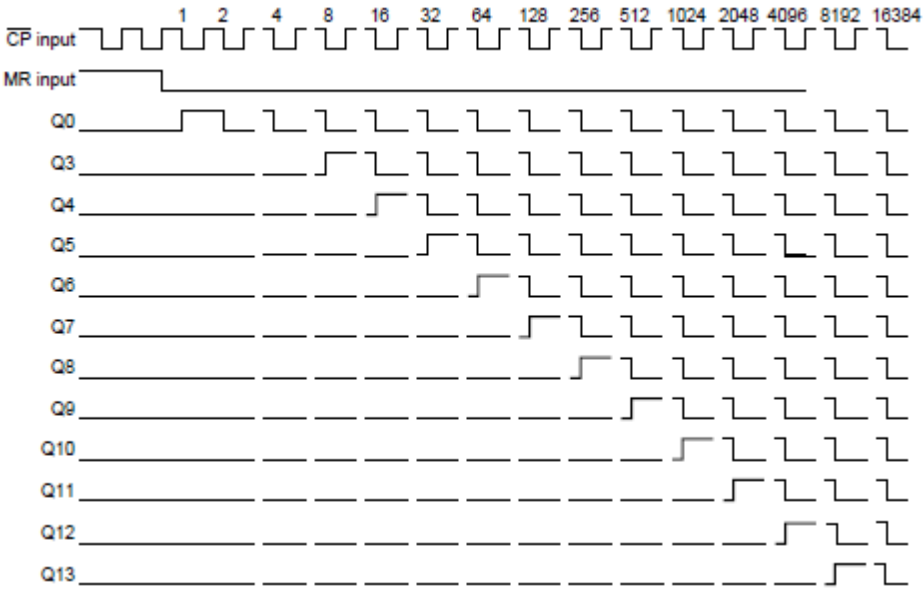


Figura 53: Factor divisor 74HC_HCT4020

Si se selecciona el pin Q0, és a dir sense cap factor divisor, el PRF és de 10240 KHz. Per tant, per seleccionar la PRF de 20 KHz, 2,44KHz i 5KHz s'ha de seleccionar els pins Q9, Q12 i Q11 respectivament.

La configuració dels pins és la següent:

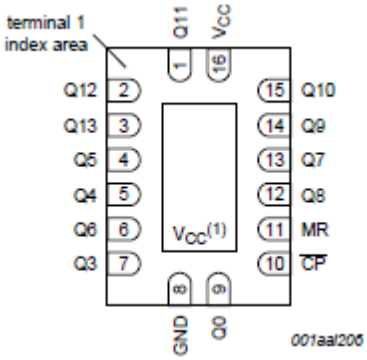


Figura 54: Pins 74HC_HCT4020

Glossari

DDS (Direct Digital Synthesizer): És un dispositiu utilitzat per crear formes d'ona a partir d'una referència de rellotge de freqüència fixa.

FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave): És un tipus de radar que permet mesurar la distància i la velocitat d'un blanc.

GUI (Graphical User Interface): és una interfície d'usuari que utilitza elements gràfics per interaccionar de forma més intuïtiva amb un sistema informàtic.

LNA (Low Noise Amplifier): És un amplificador que amplifica senyals de molt baixa potència sense degradar massa la seva relació senyal-soroll.

PLL (Phase Locked Loop): És un circuit realimentat que manté una diferència de fase constant entre un senyal de referència i la sortida.

PRF (Pulse Repetition Frequency): Nombre de polsos d'un senyal periòdic en un determinat temps (normalment expressat en polsos per segon).

SNR (Signal to Noise Ratio): Es defineix com la relació que hi ha entre la potència de senyal respecte a la potència de soroll rebuda.

VCO (Voltage-Controlled Oscillator): Dispositiu que dóna a la sortida un senyal, de freqüència proporcional a la tensió d'entrada.