



UNIVERSITAT  
ROVIRA I VIRGILI

Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

## **Disseny d'antenes Ultra WideBand (UWB)**

**TITULACIÓ:** Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions, especialitat Telemàtica

**AUTORS:** Arcadi Aragonès Just.  
**DIRECTORS:** David Girbau, Antonio Ramón Lázaro.

DATA: Juny de 2009.

# ÍNDIX

## 1 Tecnologia Ultra WideBand

1.1 Introducció .....	1
1.2 Breu història sobre les comunicacions UWB.....	1
1.3 Antenes UWB.....	2
1.4 Objectius del projecte.....	3
1.5 Organització de la memòria.....	3

## 2 Aplicacions UWB

2.1 Regulació i Estandardització de la tecnologia UWB .....	4
2.2 UWB i la teoria de Shannon .....	4
2.3 Densitat espectral de potència .....	5
2.4 Transmissió de les senyals : Forma dels polsos.....	6
2.4.1 Formació dels polsos .....	6
2.4.2 Tren de polsos .....	9
2.5 Velocitats de les transmissions de dades .....	10
2.6 Costos .....	10
2.7 Aplicacions de la tecnologia UWB .....	11
2.7.1 Aplicacions Low Data Rate (LDR).....	11
2.7.1.1 Sistemes de posicionament .....	11
2.7.1.2 Xarxes de sensors .....	11
2.7.2 Aplicacions High Data Rate (HDR) .....	11
2.7.2.1 Wireless Body Area Network (WBAN).....	12
2.7.2.2 GPR (Ground Penetrating Radar) .....	13
2.7.2.3 Aplicacions a mig abast .....	13

## 3 Disseny d'antenes UWB

3.1 Model rectangular escalonat.....	15
3.1.1 Rectangular escalonat sense <i>slot</i> .....	15
3.1.2 Rectangular escalonat amb <i>slot</i> .....	22
3.1.3 Rectangular escalonat amb línia acoblada.....	26
3.2 Model rectangular sense escalons .....	29
3.2.1 Rectangular escalonat sense <i>slot</i> .....	29
3.2.2 Rectangular escalonat amb <i>slot</i> .....	32
3.3 Model ovalat amb <i>slot</i> .....	34
3.4 Model URV (Universitat Rovira i Virgili) .....	36
3.5 Comparació de les antenes .....	40

4 Conclusions .....	42
---------------------	----

# 1. Tecnologia Ultra WideBand

## 1.1 Introducció

Els sistemes de comunicacions sense fils (*wireless*) han evolucionat exponencialment durant les dues últimes dècades, i el creixement d'aquests tipus de sistemes és cada cop més elevat. La meta de les noves generacions de sistemes wireless és intentar oferir unes taxes de dades flexibles (altes, mitjanes i baixes) així com una àmplia varietat d'aplicacions (com ara vídeo, dades, etc.) als usuaris mentre el sistema intenta proporcionar servei al màxim nombre d'usuaris possibles. Aquest objectiu ha de ser aconseguit sota la limitació de recursos com ara l'espectre o la potència del senyal.

A mesura que apareixen més dispositius sense fils s'ha de tenir present que les futures tecnologies que vagin apareixent hauran d'afrontar el fet que pot haver-hi una saturació del espectre radioelèctric així com una coexistència de diferents dispositius i tecnologies.

Per tant, considerant que la disponibilitat de l'ample de banda és limitat, és necessari treballar amb noves tecnologies que puguin coexistir amb altres dispositius operant a diferents bandes de freqüència.

Ultra WideBand (UWB, Banda UltraAmpla), apareix com una solució a aquest problema. És un sistema que està pensat perquè coexisteixi amb altres sistemes de banda estreta, tinguin o no llicència espectral. La potència transmesa que radien els dispositius UWB és controlada per una agència reguladora, de forma que els dispositius de banda estreta no siguin afectats o interferits pel senyal. Els sistemes de banda estreta que comparteixen espectre radioelèctric amb sistemes UWB veuen els senyals d'aquests sistemes com a soroll (*noise*). Aquest fet fa d'aquests sistemes una solució atractiva per a moltes àrees de comunicacions wireless com ara : *Wireless personal area networks* (WPANs), telemetria sense fils , telemedicina, xarxes de sensors sense fils, entre altres. Amb l'ample de banda que es permet treballar, UWB és molt útil per a oferir una capacitat molt major que els sistemes actuals de banda estreta per a aplicacions a distàncies curtes.

D'acord amb la definició estàndard , Ultra WideBand fa referència a qualsevol tecnologia de radiofreqüència en la que l'ample de banda a 10 dB ocupa més d'un 20 % respecte la freqüència central, o bé tenen un ample de banda a 10 dB igual o superior a 500 MHz independentment de la freqüència central.

En els Estat Units, recentment s'ha aprovat la banda entre 3.1 GHz i 10.6 GHz per a l'explotació de sistemes UWB. Això significa que s'empra més de 7 GHz de banda espectral. Europa i Japó estan desenvolupant la seva pròpia regulació.

## 1.2 Breu història sobre les comunicacions UWB

El precursor de les tecnologies UWB és el transmissor *spark-gap* (salt de guspira), que són els primers transmissors que es van utilitzar en la telegrafia sense fils. Aquest emissor es basava en l'emissió d'una guspira elèctrica (procedent de la descàrrega ocasionada per un condensador alimentat per una font d'alt voltatge), que excitava un circuit LC ressonant. L'oscil·lació dequeia ràpidament al ser radiada l'energia per una antena, i la rapidesa del procés provocava que el pols de radiofreqüència emès tingués un gran ample de banda.

Heinrich Hertz va ser el primer en verificar la propagació electromagnètica predita per Maxwell gràcies al transmissor *spark-gap*, y Nikola Tesla més tard va desenvolupar models més avançats. Però el primer que utilitzà aquest transmissor per comunicacions va ser Guglielmo Marconi (pare de les comunicacions sense fils). Marconi va usar aquests transmissors per a portar a terme les primeres proves de telegrafia sense fils l'any 1897. Però els problemes de saturació i les grans interferències que es produïen entre els diferents transmissors van fer que aquests transmissors de banda ampla perdessin interès i per tant deixessin de ser utilitzats (tan sols eren utilitzats per sabotejar comunicacions).

No va ser fins la dècada dels anys 60 quan, gràcies a l'exèrcit nord-americà, es va a tornar a usar aquest tipus de tecnologia UWB, més concretament en el camp dels radars polsats.

En els anys 70, Gerarld Ross y Robbins registren diverses patents sobre esquemes de generació i modulació de trens de polsos per a generar senyals UWB, així com mecanismes per a la seva posterior detecció.

Però no va ser fins els anys 90, quan aquesta tecnologia va començar a ser investigada més profundament amb una visió més comercial i per a comunicacions i d'aquesta forma deixar de ser exclusiva de l'àmbit militar. El desenvolupament de nous sistemes de transmissió així com tecnologies de modulació va fer que l'interès de les empreses en aquest tipus de tecnologia augmentés i es comencessin a plantejar l'estandardització.

### 1.3 Antenes UWB

Els desenvolupament de sistemes sense fils UWB, ha fet que la investigació d'antenes de petites dimensions i amb grans amplituds de banda incrementi en els darrers anys. La tecnologia UWB, per les seves característiques d'ample de banda, necessita treballar amb dissenys d'antenes de perfil reduït, ja que la dimensió de l'antena està directament relacionada amb la longitud d'ona de les freqüències que ha de treballar (de l'escala de mm o cm).

Un model d'antenes que compleixen amb aquestes característiques són les antenes monopòl planes, gràcies a la seva bona adaptació d'impedància, l'estabilitat dels patrons de radiació i l'alta eficiència en tot l'ample de banda a operar [1]. Aquestes antenes estan impreses sobre un substrat (com per exemple PBG), i disposen d'un pla de massa parcial. Poden adoptar diferents formes : rectangular, circular, triangular, el·líptiques entre moltes altres formes.

Per altra banda, l'existència d'altres serveis *wireless*, com pot ser la tecnologia WLAN, ha portat als dissenyadors d'antenes UWB, a l' inclusió d'elements en les antenes els quals generin desadaptacions (*notch*) en les bandes freqüencials usades per aquests serveis, ja que hem de tenir en compte que UWB treballa en un ample de banda molt gran i es podrien arribar a crear petites interferències.

En els últims anys, s'han proposat diferents elements per tal de generar un *notch* en les bandes reservades per altres tecnologies *wireless*. Alguns d'aquests elements han estat la ranura (*slot*) i l'acoblament de línies ressonadores. En el cas del *slot*, es pretén incorporar aquest en l'antena (en el metall de ressonància), per tal que el guany en la freqüència que es vol que aparegui una desadaptació sigui el menor possible i per tant que l'antena no

radiï ni absorbeixi energia. En el cas de l' incorporació d'una línia acoblada es planteja la mateixa idea.

El disseny d'aquests tipus d'antenes amb dimensions reduïdes fa possible l'introducció d'aquestes antenes en sistemes electrònics de consum de petit disseny, com poden ser dispositius d'emmagatzemament, PDAs, telèfons mòbils, etc.

#### **1.4 Objectius del projecte**

En el projecte es vol donar una visió general sobre que és la tecnologia UWB i quina és la seva situació actual i de futur. També es vol fer un estudi i disseny de diferents models d'antenes pensades per a comunicacions UWB, fet que comportarà l'estudi exhaustiu del comportament d'aquestes antenes en l'ample de banda UWB (3.1-10.6 GHz). Posteriorment a aquest disseny es procedirà a construir les antenes, per tal de mesurar-les i poder veure si son aptes per a comunicacions, fent últimament una comparació de totes les antenes dissenyades i construïdes.

#### **1.5 Organització de la memòria**

La memòria del treball s'ha organitzat en diferents punts :

- En el primer capítol es fa una introducció i s'explica de forma breu la història de la tecnologia UWB.
- En el segon capítol, d'una forma més tècnica, es parla sobre la regulació i estandardització del sistemes UWB, s'introdueix una base teòrica sobre aquesta tecnologia i es parla sobre quines són les seves aplicacions.
- En el següent capítol es fa un treball de disseny i estudi exhaustiu sobre diferents models d'antenes UWB, mostrant per a cada model d'antena, el patró de radiació, les pèrdues de retorn, el guany, la directivitat i l'eficiència en tot l'ample de banda.
- En el quart capítol es donen les conclusions del projecte.

#### **Referències**

- [1] Ki-Hak, Y.-J. Cho, S.-H. Hwang and S.-O. Park, " Design of a Band-reject UWB Planar Monopole. Antenna with two parasitic Patche", Proceedings of ISAP2005, Seoul, Korea.

## 2. Aplicacions UWB

### 2.1 Regulació i Estandardització de la tecnologia UWB

Al febrer del 2002, la FCC (*Federal Communications Commission*) va publicar les primeres regulacions per a l'ús comercial sense llicència de sistemes UWB en els Estats Units, delimitant entre 3.1 GHz i 10.6 GHz el rang de freqüències possible a operar, amb un límit de potència de -41.3dBm/MHz.

Els processos d'estandardització han estat portats a terme per dos grups de treball, el IEEE 802.15 nord-americà, i l'europeu ETSI ERM TG31.

L'objectiu d'aquests dos grups és generar un estàndard senzill, barat, de baix consum i d'elevada velocitat de transmissió de dades.

En el cas del grup IEEE es van presentar tres estàndards diferents : l'IEEE 802.15.3a el qual incloua dos propostes, una proposta amb modulació OFDM de la Multiband OFDM Alliance (MBOA) i l'altra de seqüència directa (Direct Sequence, DS).

L'IEEE 802.15.4a, el qual utilitza la proposta DS va ser aprovat per a taxes d'informació baixes.

I per últim l'estàndard ECMA-368 que és el que actualment està aprovat.

L'estàndard ECMA-368 especifica la capa física i el control d'accés al medi per a altes velocitats, en xarxes sense fils de curta distància utilitzant tot o part de l'espectre entre 3.1 i 10.6 GHz, suportant taxes de dades de fins a 480 Mb/s o més.

Aquest estàndard divideix l'espectre en 14 bandes diferents, cada una d'elles amb un ample de banda de 528 MHz.

“MultiBand Orthogonal Frequency Division Modulation” (MB-OFDM) és l'esquema usat per a transmetre informació. Un total de 110 sub-portadores (100 portadores de dades i 10 de guarda) són utilitzades per cadascuna de les bandes. Frequency-domain spreading, time-domain spreading, and forward error correction (FEC) són tècniques utilitzades per al correcte funcionament de cadascun dels canals freqüencials.

Junt a aquests organismes d'estandardització internacionals, cal destacar un gran nombre d'associacions que han estat treballant per accelerar la implantació comercial massiva d'UWB : com ara WiMedia Alliance, UWB Working Group, MultiBand OFDM Alliance, entre moltes altres.

### 2.2 UWB i la teoria de Shannon

UWB neix, tal i com s'ha esmentat anteriorment, com una tecnologia que proporciona unes taxes de velocitats molt elevades per un baix cost de consum de potència. Per tal d'entendre el perquè d'aquesta gran capacitat és necessari veure, mitjançant la teoria de Shannon, quins factors afecten a aquesta capacitat.

L'equació de Shannon és expressada de la següent forma [1] :

$$C = B \cdot \log\left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (2.1)$$

On  $C$  és la capacitat màxima del canal, amb unitats de bits per segon,  $B$  és l'ample de banda del canal en Hertz,  $S$  és la potència de la senyal en watts i  $N$  és la potència de soroll també en Watts.

De la fórmula (2.1) podem extreure que hi ha tres factors que poden fer incrementar la capacitat del canal. Per tant, podem incrementar l'ample de banda incrementant la potència del senyal o disminuint el soroll; en aquests dos casos la capacitat augmenta logarítmicament. Podem observar també, que la capacitat del canal incrementa linealment a mesura que incrementem l'ample de banda [1].

En el cas d'UWB, podem veure que aquesta gran capacitat és gràcies al gran ample de banda que disposa cada canal, que permet disminuir la relació senyal soroll.

### 2.3 Densitat espectral de potència

La densitat espectral de potència ( "*Power Spectral Density*" (PSD)) en sistemes UWB és extremadament baixa, especialment per a aplicacions de comunicacions. La PSD és definida com [1]:

$$PSD = \frac{P}{B} \quad (2.2)$$

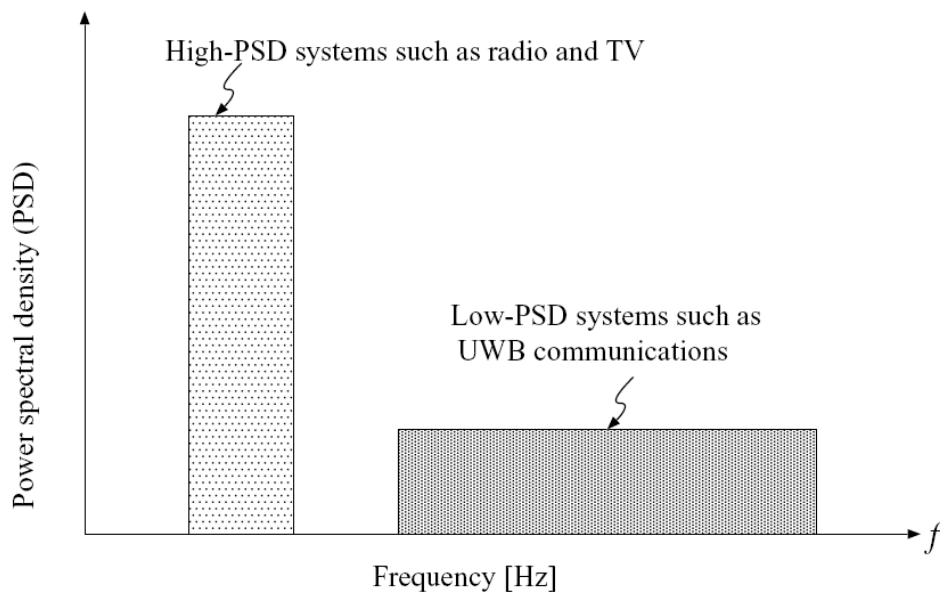
On  $P$  és la potència transmesa en watts i  $B$  és l'ample de banda de la senyal en hertzs. Les unitats de la PSD seran, per tant, Watts/hertz.

Històricament, les comunicacions wireless havien utilitzat un ample de banda estret i per tant podien tenir una potència espectral elevada. Vist d'una altra forma podem dir que la freqüència és inversament proporcional al temps, per tant els sistemes de banda estreta tenen un ample de banda estret i una llarga duració de temps. Per a sistemes UWB, els polsos tenen un temps de durada molt curt i per tant un gran ample de banda. En la *Taula 2.1* podem veure diferents PSDs per a diferents tecnologies de comunicacions wireless [1]:

System	Transmission power	Bandwidth	PSD [W/MHz]	Classification
Radio	50 kW	75 kHz	666 600	Narrowband
Television	100 kW	6 MHz	16 700	Narrowband
2G Cellular	500 mW	8.33 kHz	60	Narrowband
802.11a	1 W	20 MHz	0.05	Wideband
UWB	0.5 mW	7.5 GHz	$6.670 \times 10^{-8}$	Ultra wideband

**Taula 2.1** PSDs en diferents tecnologies wireless.

La *Figura 2.1* mostra la PSD per sistemes de banda estreta i banda ampla. El fet de tenir una baixa densitat espectral de potència, proporciona als sistemes UWB un avantatge vers altres tecnologies. Aquest avantatge és la baixa probabilitat de detecció, el qual el fa un sistema atractiu per a aplicacions militars, així com per a aplicacions d'usuaris wireless, on la seguretat en les xarxes és un factor a tenir en compte. Els altres sistemes prenen les senyals emeses per un transmissor UWB com a soroll o interferències i per tant és molt difícil d'interceptar les comunicacions.



**Figura 2.1** PSD de sistemes UWB vers altres sistemes com radio o televisió.

## 2.4 Transmissió de les senyals : Forma dels polsos

Els sistemes UWB es divideixen en dos grups, depenent de com les senyals es transmeten [2]:

- *Pulsed UWB* : Senyals tipus radar (*impulse radio*) en forma de polsos de molt curta duració que ataquen directament l'antena, sense usar portadora (*carrierless*).
- *Carrier-based UWB* : Utilització de portadores, com en els sistemes de radio convencionals, on hi ha una senyal amb banda base que es converteix a pas banda per a la seva transmissió mitjançant una modulació del canal.

### 2.4.1 Formació dels polsos

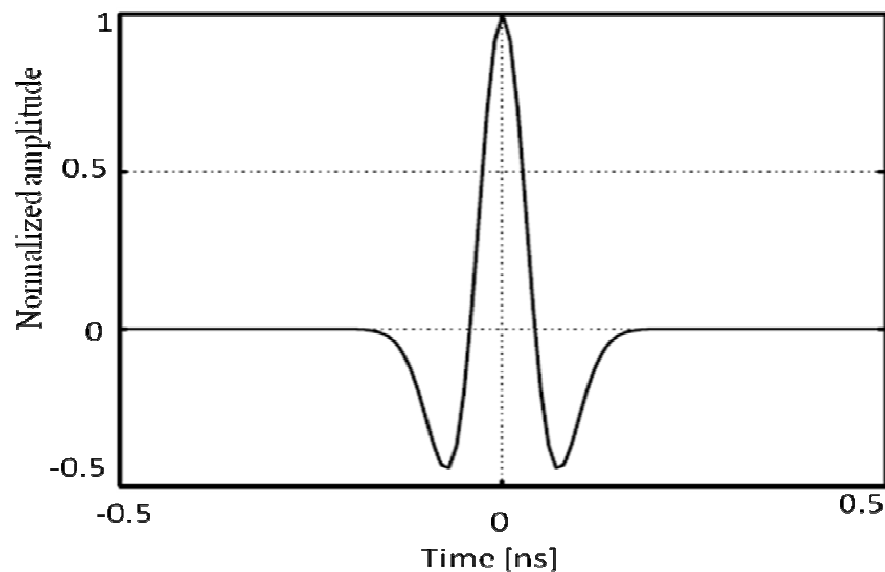
El pols que emeten els sistemes UWB, és conegut com a pols Gaussià (mostrat a la *Figura 2.2*). Aquests polsos són utilitzats en sistemes UWB perquè la seva forma és senzilla de generar. La seva generació es porta a terme mitjançant un pols quadrat el qual ha estat generat mitjançant la ràpida commutació d'un transistor, fent que els polsos siguin de molt poca duració (tipus radar) amb uns temps de pujada i baixada molt pronunciats [1].

En les *Figures 2.3* i *Figura 2.4* podem veure les etapes de formació d'aquests polsos i les formes que van prenent els polsos en les diferents etapes. Es pot veure la creació dels polsos Gaussians en el transmissor i els efectes de l'antena en la recepció d'aquests. Es comença amb un pols quadrat (*Figura 2.4.a*). La ràpida commutació fa que el polsos no siguin del tot rectangulars, adquirint una forma aproximada a la funció de Gauss. L'equació de la funció de Gauss ( $G(x)$ ) pren la següent forma [1] :

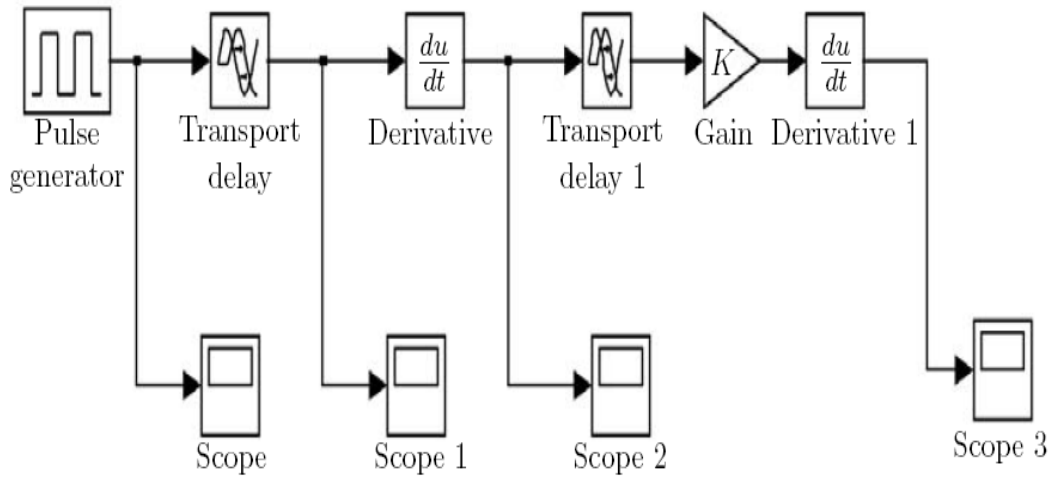
$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \sigma^2}} \cdot e^{-x^2 / 2\sigma^2} \quad (2.3)$$

On  $\sigma$  és la desviació típica ( $\sigma^2$  és la variància) i  $x$  el senyal.

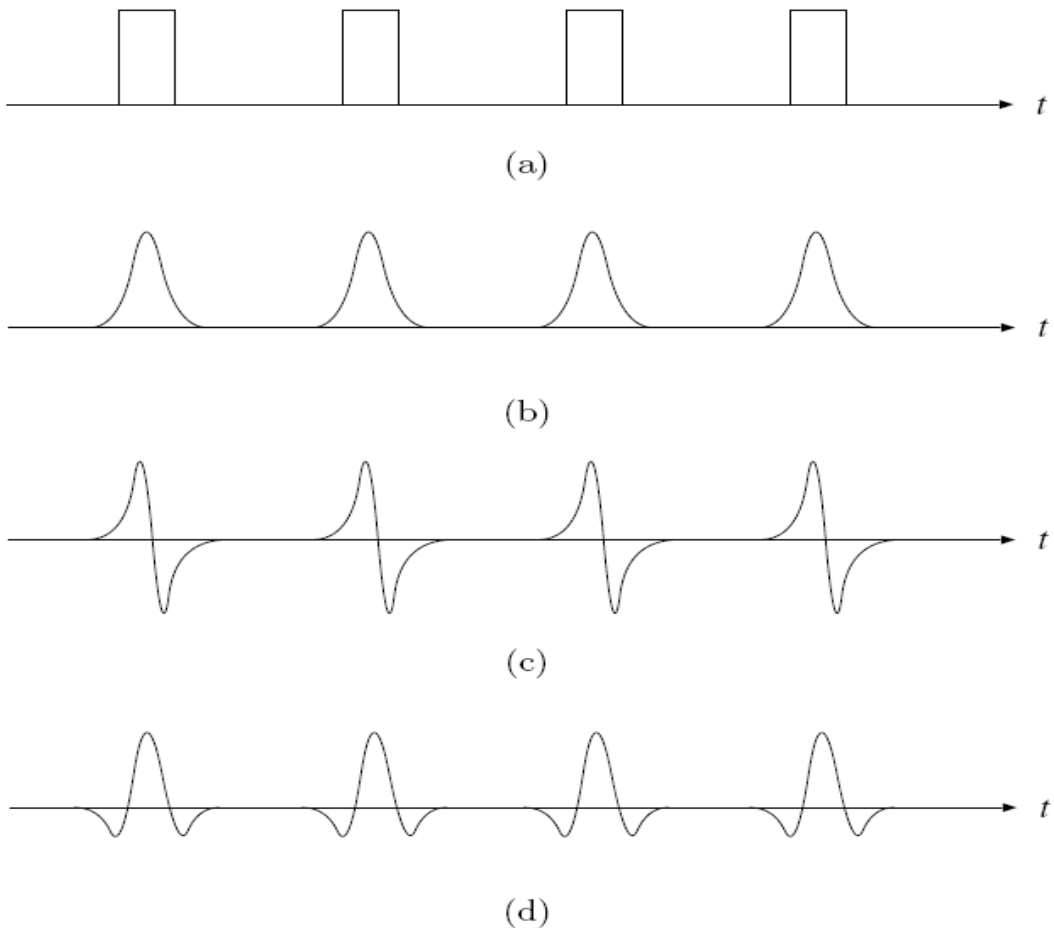
En la *Figura 2.3* es mostra un simple sistema de creació d'un pols Gaussià. Transmetent els polsos directament a les antenes el resultat que es produeix en els polsos és un efecte de filtratge degut a les propietats de les antenes. Aquest filtratge pot ser modelat com una operació de derivació del pols. El mateix efecte transcorre en recepció (en les antenes receptores). En l'esquema d'exemple, es modela el canal com un retard i es suposa que el pols és amplificat en recepció [1].



**Figura 2.2** Forma ideal d'un pols gaussià a la sortida de l'antena receptora.



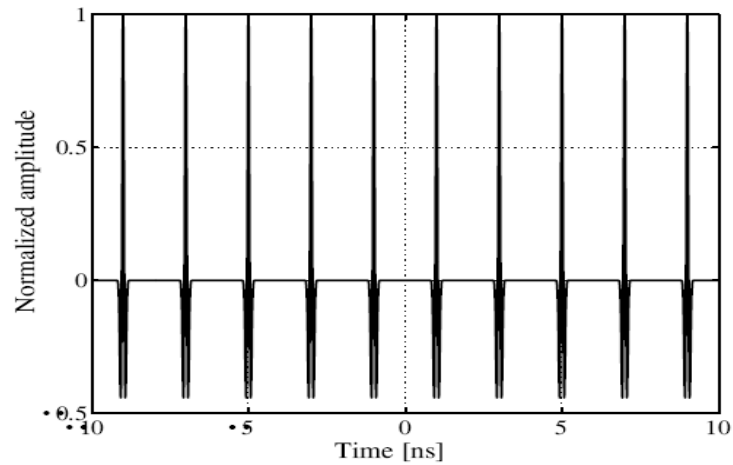
**Figura 2.3** Diagrama de blocs d'una cadena de transmissió UWB.



**Figura 2.4** Forma dels polsos en l'entrada als diferents oscil·loscopis (*Scope*) : a) sortida dels polsos quadrats (*Scope*) ; b) sortida dels polsos Gaussians (*Scope 1*); c) sortida dels polsos derivats (*Scope 2*), d) forma final dels polsos (*Scope 3*).

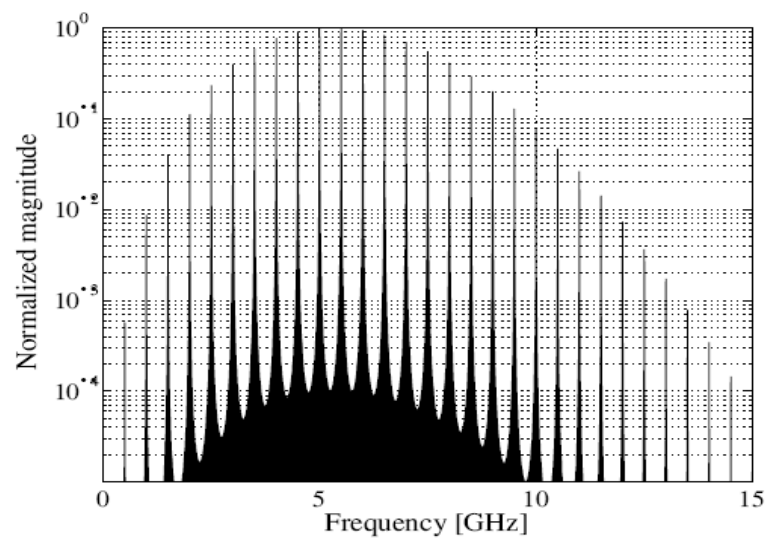
### 2.4.2 Tren de polsos

Un pols per sí mateix no pot portar molta informació. La informació o les dades necessiten ser modulades en una sèrie de polsos anomenats tren de polsos [1].



**Figura 2.5** Tren de polsos.

Quan els polsos són enviats en intervals regulars, anomenat *duty cycle*, l'espectre resultant conté pics de potència en les freqüències múltiples de la freqüència de repetició dels polsos, i l'envoltant depèn de la transformada del pols enviat. Aquestes freqüències prenen un valor invers a la taxa de repetició dels polsos. Aquestes línies de pic de potències són anomenades *comb lines*, perquè tenen una forma similar a un pinta (*comb*), mostrat en la *Figura 2.6*.



**Figura 2.6** Espectre d'un tren de polsos.

## 2.5 Velocitats de les transmissions de dades

Un dels principals avantatges de les transmissions UWB per comunicacions és la gran taxa de dades que suporta.

Moltes de les aplicacions de comunicacions UWB aconseguen velocitats del rang de 100-500 Mbps. Cal tenir present que aquesta taxa de dades és de 100 a 500 vegades més gran que la velocitat proporcionada per la tecnologia Bluetooth, sobre uns 50 cops més ràpida que la tecnologia 802.11b, o unes 10 vegades més ràpida que els estàndards WLAN 802.11a

En la *Taula 2.2*, se'ns mostra les diferents velocitats de transmissió (en Mbps), que caracteritza diferents tecnologies de comunicacions [1].

Speed [Mbps]	Standard
480	UWB, USB 2.0
200	UWB (4 m minimum), 1394a (4.5 m)
110	UWB (10 m minimum)
90	Fast Ethernet
54	802.11a
20	802.11g
11	802.11b
10	Ethernet
1	Bluetooth

**Taula 2.2** Diferents taxes de dades en estàndards wireless.

Com es pot observar en la *Taula 2.3*, apareixen diferents velocitats en quant a UWB. Les velocitats varien depenent de quina sigui la distància a la que es troben els transmissors dels receptors.

## 2.6 Costos

Una altra de les grans qualitats que tenen els sistemes UWB és la baixa complexitat que comporten els sistemes i el baix cost. Els sistemes UWB poden ser fets gairebé amb tots els components digitals, amb una baixa presència d'equips de radiofreqüència o de microones. No obstant, si es desitja tenir unes altes taxes de dades augmentarà la complexitat dels circuits, al igual que si es desitja tenir un sistema d'accés múltiple. Això es tradueix amb un augment del cost del circuit [1].

## **2.7 Aplicacions de la tecnologia UWB**

### **2.7.1 Aplicacions Low Data Rate (LDR) :**

#### **2.7.1.1 Sistemes de posicionament**

La gran precisió en resolució espacial dels sistemes UWB, ha fet que molts sistemes de localització utilitzin aquesta tecnologia. Un exemple és el sistema PAL (Precision Asset Location). Consta d'un centre de processat i un conjunt de receptors UWB. Algun dels transmissors s'utilitzen com a punt de referència, operant de 1.25 a 6.2 GHz d'ample de banda. El sistema fa una triangulació de com a mínim tres d'aquests transmissors per trobar la posició exacta del receptor. La resolució és de poques desenes de centímetres en un radi aproximament de 200 metres.

En l'àmbit militar, existeixen sistemes de posicionament avançats que empen aquesta tecnologia. Consisteixen en un seguit de transmissors independents que estableixen comunicacions punt a punt, de forma que calculant el retard dels polsos es pot estimar la distància amb una gran precisió.

Aquests transmissors de posicionament UWB operen en banda C (entre 4 i 8 GHz) amb un ample de banda de 500 MHz i una potència de pic de -10 dBm, emeten amb una antena omnidireccional. Els dispositius emeten senyal sota demanda. La resolució temporal és de l'ordre de nanosegons, gràcies a l'ús de díodes d'efecte túnel extremadament precisos, es poden aconseguir resolucions espacials del ordre de centímetres.

Aquests sistemes s'apliquen en zones on es requereix un posicionament molt precís, i no és possible (o no resulta pràctic) usar GPS (com per exemple espais interiors o subterranis, o entorns amb moltes reflexions *multipath* on GPS no sigui suficientment precís).

#### **2.7.1.2 Xarxes de sensors**

El bon comportament enfront interferències fa dels sistemes UWB un candidat perfecte per implementar xarxes de sensors, ja que és un sistema robust i difícil de detectar o sabotejar.

Un exemple d'aquesta aplicació és el sistema UWEN, el qual està format per una xarxa de sensors que transmeten poca informació i una sèrie de nodes UWB que recullen aquesta informació transmesa. La xarxa és centralitzada, i existeix un receptor que recull i processa la informació procedent dels sensors (per exemple sensors de vídeo i multimèdia). L'accés al medi compartit es resol mitjançant NanoMAC, que implementa ESMA-CA (accés al medi amb detecció d'energia i prevenció de colisions).

### **2.7.2 Aplicacions High Data Rate (HDR) :**

Les aplicacions amb taxes altes de dades fa d'UWB una tecnologia molt útil en quan a comunicacions wireless. Per tant, l'interès comercial en el desenvolupament, estàndards i regulacions és cada cop més creixent.

El problema de dissenyar transeptors amb una complexitat raonable, com per exemple dispositius de mà, és una de les metes a assolir en aplicacions d'aquest tipus.

La robustesa en contra de sistemes que produeixen interferències en els sistemes UWB, com poden ser dispositius elèctrics que emeten soroll (en la llar o en oficines), així com la baixa interferència amb senyals d'altres serveis wireless que operen en diverses seccions de l'ample de banda UWB, és un factor important a tenir en compte en aquesta tecnologia.

Així doncs, les principals àrees d'aplicacions inclouen [2] :

- Accés a Internet i serveis multimèdia : per les seves taxes de dades altes, així com la gran capacitat d'usuaris, fa útil aquesta tecnologia per oferir aquests serveis.

- Dispositius perifèrics wireless : El creixement exponencial de dispositius electrònics de consum (laptop, telèfons mòbils, PDA, llapis de memòria, etc.. ), en els quals l'intercanvi de dades és molt freqüent i necessiten, cada cop més, velocitats de transmissió i recepció de dades molt elevades, fa que UWB sigui atractiu. La transmissió wireless en aquests dispositius fa possible que poc a poc vagin desapareixent els cables fins arribar a un món totalment sense fils. Una altra peculiaritat que tenen els sistemes UWB és el poc consum de potència que necessiten per operar, oferint als usuaris una vida de les bateries més llarga, o la eliminació de fonts d'alimentació externes.

Molts fabricants de dispositius electrònics estan investigant i treballant amb sistemes UWB com a mecanismes d'interconnexió entre dispositius com ara : reproductors DVD, càmeres de vídeo, sistemes d'àudio (altaveus, auriculars, etc), reproductors multimèdia, etc... eliminant així tota la xarxa de cablejat que aquests dispositius comporten. Això és particularment important tenint en compte les altes taxes de dades que utilitzen molts dispositius, com per exemple, un reproductor DVD d'alta definició.

### ***2.7.2.1 Wireless Body Area Network (WBAN)***

WBAN és un altre exemple de la gran projecció de futur que té UWB. WBAN és probablement, a nivell social i innovador l'aplicació més interessant. Degut a la eficiència d'energia que aporta UWB, fa que aquesta tecnologia pugui ser integrada en equips de mà, fent-la molta útil per supervisions mèdiques. A més, la robustesa de senyals UWB davant interferències ofereix un alt grau de fiabilitat, necessari per a tenir una alta precisió en la informació mèdica del pacient així com una alta fiabilitat del contingut de les dades, en un entorn (l'hospital, consulta mèdica, etc) on hi ha un alt contingut de interferències produït per altres aparells electrònics, elèctrics, etc [2].

La possibilitat de transmetre taxes de dades altes i transferir informació de vital importància usant xarxes UWB permet a la tele-medicina ser una possible tecnologia de futur en l'àmbit mèdic.

Un altre avantatge que proporciona UWB és la gran capacitat de penetració que té en els materials, per tant el fa molt útil per crear una visió virtual de la zona que es pretén inspeccionar amb molta precisió, eliminant sistemes tradicionals com les radiografies, que poden arribar a ser més nocives.

Per últim, gràcies a les altes taxes de dades, UWB permet disposar d'una xarxa d'interconnexió entre la xarxa corporal i altres xarxes de computadors per un posterior emmagatzematge de les dades en servidors o altres dispositius [2].

### **2.7.2.2 GPR (Ground Penetrating Radar)**

Una altra aplicació UWB és el GPR (“Radar Penetrador Terrestre”). La tecnologia GPR s'utilitza per fer una prospecció no destructiva del subsòl. El GPR és una variació del radar convencional. La tecnologia consisteix en enviar polsos electromagnètics directament al sòl que es vulgui observar, rebent posteriorment les reflexions. Depenent de les variacions en la constant dielèctrica del terreny, els rebots dels polsos adoptaran formes diverses, de forma que es podrà crear una imatge virtual del subsòl. Les aplicacions d'aquesta tècnica són diverses, des de l'estudi arqueològic d'un terreny fins la localització de persones en zones enderrocades.

### **2.7.2.3 Aplicacions a mig abast**

Encara que les aplicacions de UWB donen un millor rendiment a distàncies curtes, UWB ofereix grans prestacions a mig abast sempre i quan hi hagi visió directa (LOS). Diversos experiments portats a terme per Multispectral Solutions han demostrat que és possible establir un enllaç de vídeo de 6 Mbps a 8 km de distància transmetent a una potència màxima de 2 W, cosa que per a transmetre una taxa de 6 Mbps a una distància de 250 m amb una tecnologia wireless habitual com ara IEEE 802.11a, és necessària una potència de 10 W.

Com es pot veure UWB ofereix més bons resultats que altres tecnologies wireless, però fa falta encara que s'investigui més a fons per a poder ser utilitzat comercialment.

## **Referències**

- [1] M.Ghavami, L.B Michael i R. Kohno, “Ultra Wideband signals and systems in communication engineering”, Ed.Wiley, 2007.
- [2] Ben Allen, Tony Brown, Katja Schwieger et al, “Ultra Wideband: Application, Technology and Future perspectives”, International workshop on convergent technologies (IWCT), 2005.
- [3] DD.AA, “Ultra-Wideband Radar Technology”, by James D. Taylor (Editor), CRC Press LLC, 2001.

### 3. Disseny d'antenes UWB

S'han proposat dissenyar diferents models d'antenes UWB. Les antenes estan dissenyades per tal d'operar en la banda de 3.1-10.6 GHz, obtenint per tota la banda una relació d'ona estacionària  $VSWR < 2$ .

Totes les antenes s'han dissenyat sobre substrat de fibra. Els dissenys proposats són :

- model rectangular escalonat amb i sense *slot*
- model rectangular sense escalons amb i sense *slot*
- model ovalat amb *slot*
- model URV amb *slot*
- rectangular escalonat amb línia acoblada ressonadora.

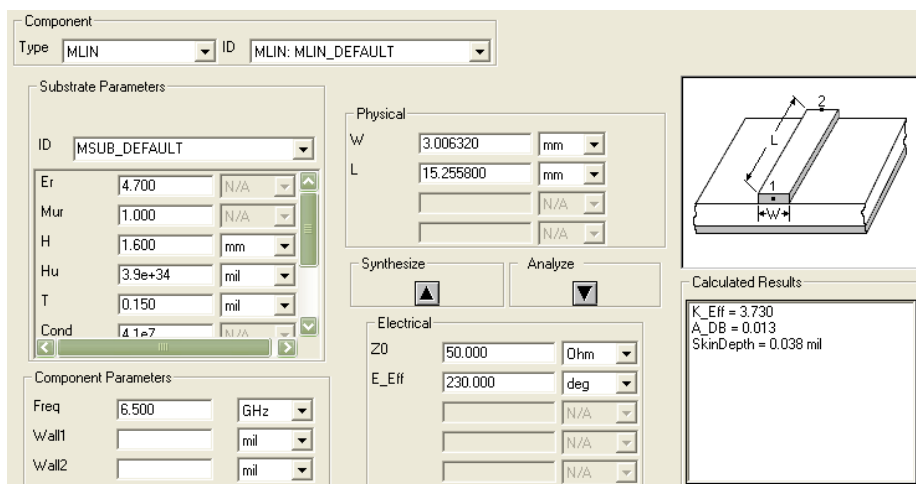
Per dissenyar les antenes, així com per fer totes les simulacions, s'ha fet servir el programa *Momentum - Advanced Design System 2006a* (ADS).

Els substrat de fibra utilitzat té les característiques mostrades a la *Taula 3.1*.

Nom	Gruix(mm)	Permitivitat Relativa	Tangent de Pèrdues
Fibra	1.6	4.7	0.0022

**Taula 3.1.** Característiques del substrat utilitzat.

Per tal de calcular les dimensions físiques de la línia d'alimentació ( $50\Omega$ ), hem utilitzat l'eina *LineCalc* del programa ADS. L'amplada de la línia de  $50\Omega$  sobre fibra és de 3 mm (veure la *Figura 3.1*.)



**Figura 3.1.** Dimensions de la línia d'alimentació.

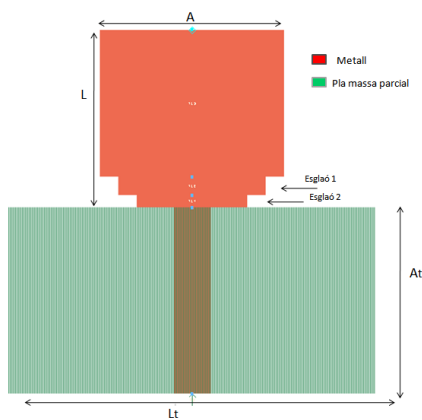
Els ports utilitzats per l'alimentació han estat, en el cas del metall, de tipus *single mode* de  $50 \Omega$  i en el cas del pla de massa parcial de tipus *ground reference* referenciat al port 1.

### 3.1 Model rectangular escalonat

#### 3.1.1 Rectangular escalonat sense slot

El primer model que s'ha dissenyat és en forma de rectangle escalat. El disseny està basat en la topologia proposada en [1].

La forma i les dimensions de l'antena les podem observar en la *Figura 3.2* i la *Taula 3.2*, respectivament. En vermell es mostra la metal·lització de la capa superior (és l'antena, pròpiament dita), mentre que en verd es mostra la metal·lització de la capa inferior (és el pla de massa):



**Figura 3.2.** Layout de l'antena.

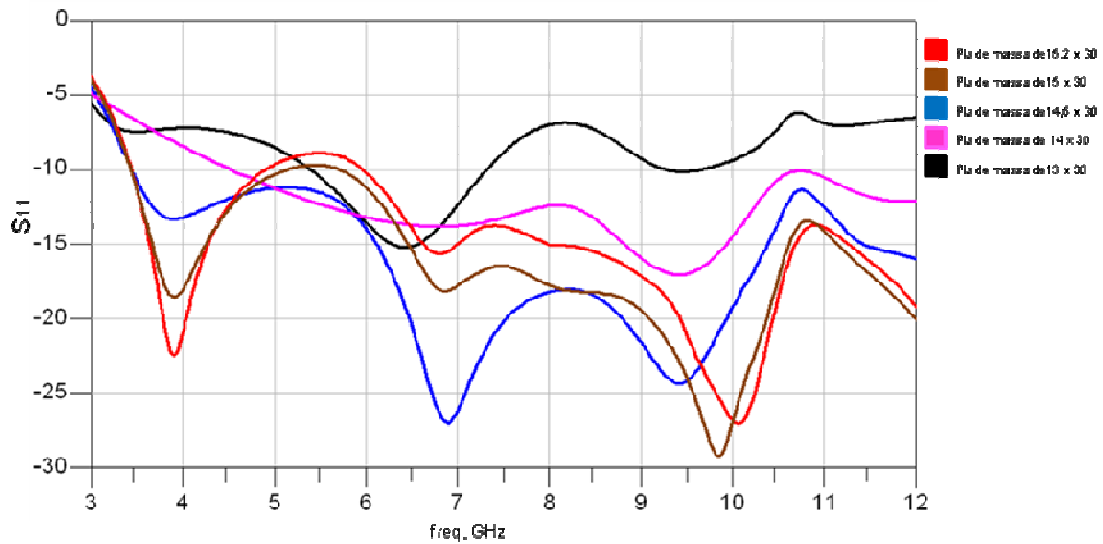
A	15 mm
L	14.5 mm
Esglaó 1	$1.5 \times 12 \text{ mm}^2$
Esglaó 2	$1 \times 9 \text{ mm}^2$
At	15.2 mm
Lt	30 mm

**Taula 3.2.** Dimensions de l'antena.

Partint de les dimensions de l'article [1] i per tal d'obtenir la millor resposta de l'antena, hem anat modificant les dimensions del pla de massa, així com les de la línia d'alimentació. Cal tenir en compte que en l'article s'havia utilitzat un altre substrat, per tant, ha estat necessari adaptar les dimensions al nostre substrat. Posteriorment s'ha fet un escombrat de dimensions i una optimització fins arribar al resultat final.

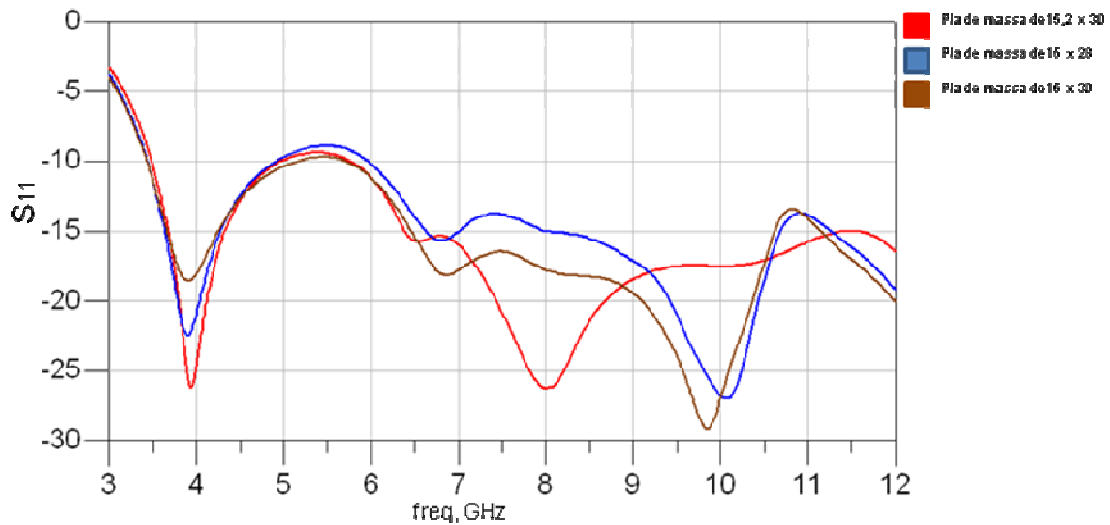
Un cop realitzat el disseny de l'antena, per tal de poder comprovar les pèrdues de retorn dins del rang de freqüències que ens hem proposat, caldrà simular-ne la resposta. Tal i com s'ha esmentat abans, perquè l'antena tingui un bon comportament en les freqüències desitjades, serà convenient que les pèrdues de retorn siguin inferiors a  $-10\text{dB}$  ( $\text{VSWR} < 2$ ).

Les simulacions amb les diferents dimensions del pla de massa són les mostrades a la *Figura 3.3* (variació de l'amplada) i la *Figura 3.4* (variació de la longitud).



**Figura 3.3.** Resposta de l'antena per diferents dimensions de l'amplada del pla de massa.

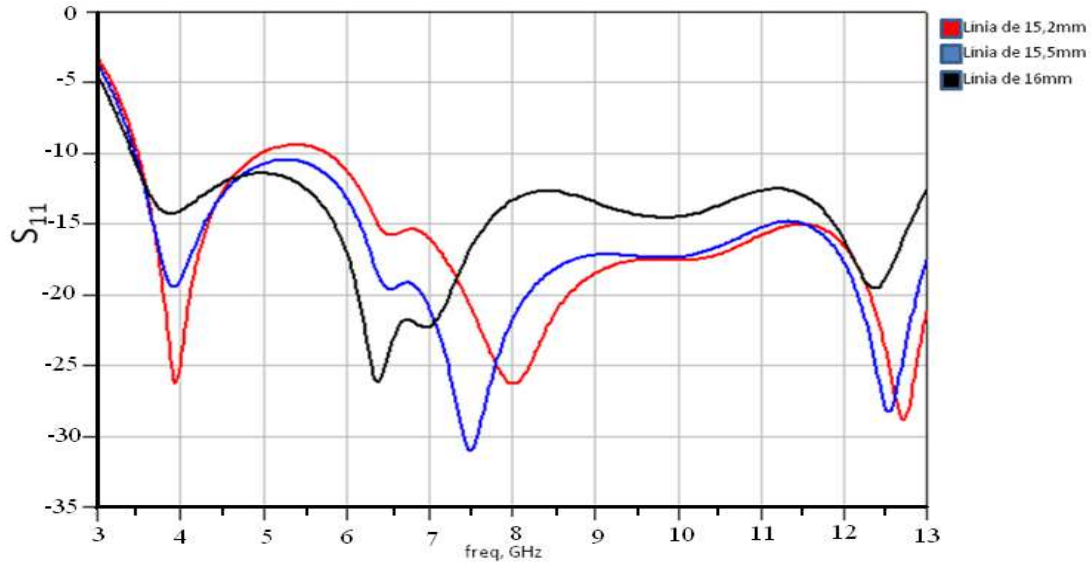
Com es pot observar en la *Figura 3.3* els plans de massa que donen una millor adaptació de l'antena són els de 15x30 mm i 15.2x30 mm.



**Figura 3.4.** Resposta de l'antena per diferents dimensions de la longitud del pla de massa.

Les dimensions més adients del pla de massa són la de 15.2x28 mm, ja que al llarg de tot l'ample de banda és on podem veure una millor adaptació. A 3.1 GHz podem veure que està una mica desadaptada, però això serà una constant en tots els dissenys per tal d'aconseguir una miniaturització de les antenes (hi ha un compromís entre miniaturització i adaptació a baixa freqüència).

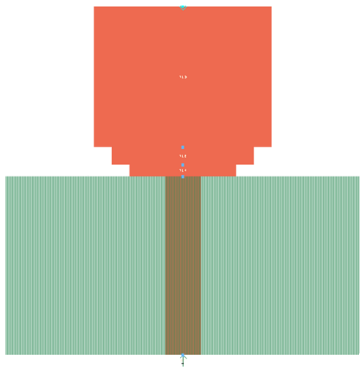
A continuació a la *Figura 3.5* es representa la resposta de l'antena amb pla de massa 15.2x28 mm per diferents longituds de la línia d'alimentació, per tal de comprovar com varia l'adaptació de l'antena.



**Figura 3.5.** Resposta de l'antena per diferents longituds de la línia d'alimentació.

Podem apreciar que la longitud idònia és la de 15.2 mm, ja que a baixes freqüències mostra una millor adaptació.

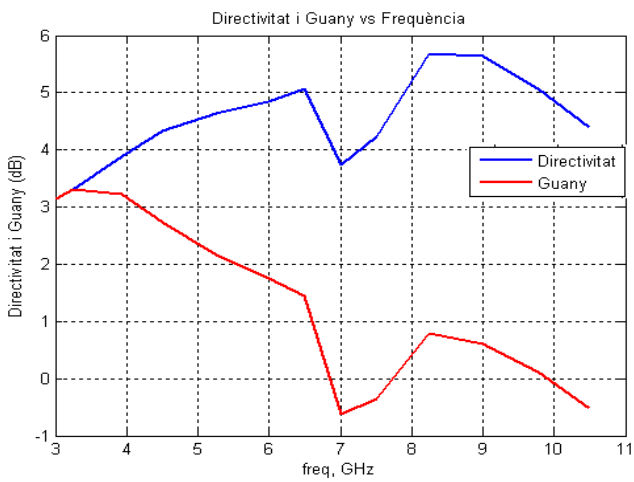
En la *Figura 3.6* es mostra l'antena dissenyada i alguns dels paràmetres simulats més importants. En la *Figura 3.6.a* es mostra el layout de l'antena, mentre que en la *Figura 3.6.b* es mostra una fotografia del prototipus fabricat. En la *Figura 3.6.c* es mostra una gràfica del guany disponible i la directivitat en funció de la freqüència i en la *Figura 3.6.d* es mostra l'eficiència. Finalment, en la *Figura 3.6.e* es pot observar el diagrama de radiació a la freqüència de 6.5 GHz i en la *Figura 3.6.f* l'adaptació. És important senyalar que el guany mostrat no és el guany total de potència sinó el guany disponible, ja que el software de simulació ADS no té en consideració l'eficiència d'adaptació de l'antena. Observant el patró de radiació (*Figura 3.6.e*) veiem com l'antena presenta el guany màxim en la direcció del pla E, obtenint un guany nul en la direcció del pla H.



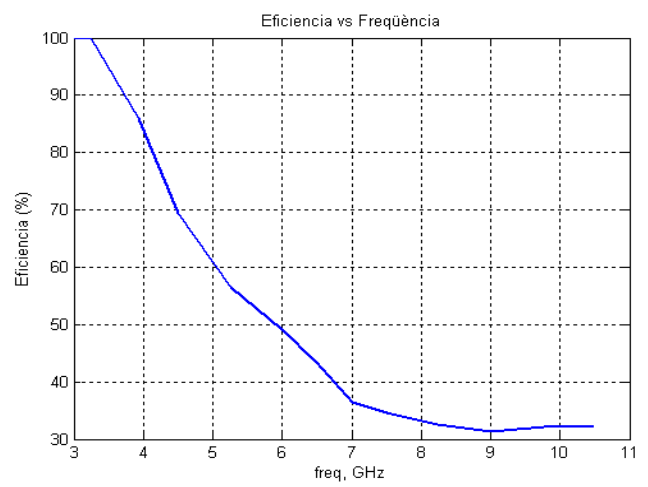
a)



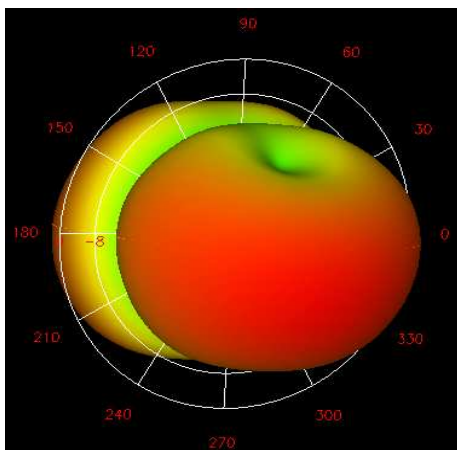
b)



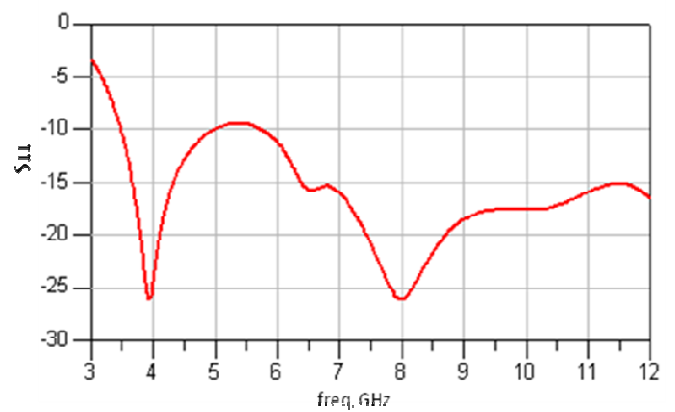
c)



d)



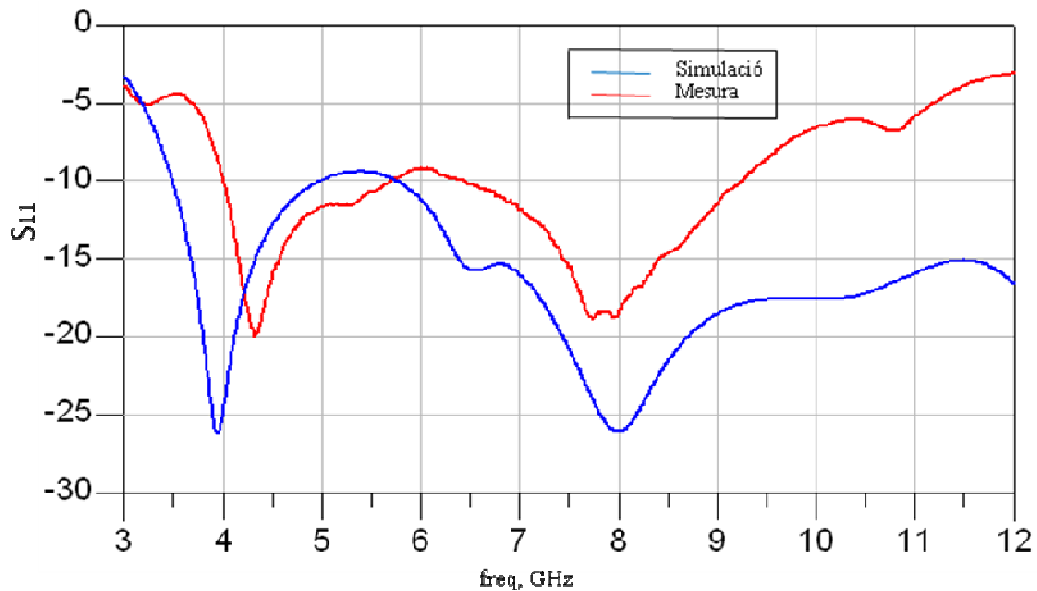
e)



f)

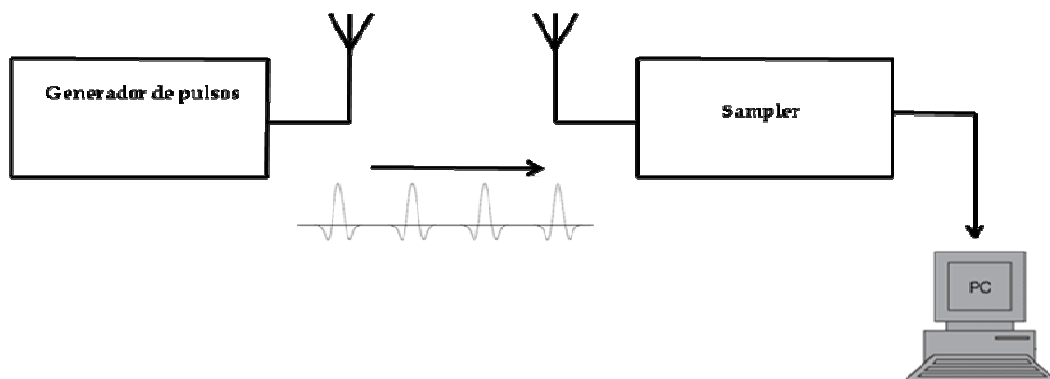
**Figura 3.6** a) *Layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d) eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) diagrama de radiació a 6.5 GHz, f) adaptació en funció de la freqüència.

En la *Figura 3.7*, es pot observar l'adaptació de l'antena, mostrant la simulació (amb les mesures optimitzades del pla de massa i línia d'alimentació) i la resposta amb mesures reals obtingudes amb un analitzador de xarxes. S'observa bona similitud entre la simulació i la mesura a baixa freqüència fins a uns 8 GHz, on la mesura empitjora respecte la simulació. Això és degut a l'efecte del connector SMA, que no és simulable. Aquesta tendència s'observa en tots els dissenys.



**Figura 3.7** Simulació i mesures reals de l'adaptació de l'antena.

El següent pas ha estat mesurar la resposta temporal de l'antena. La mesura s'ha realitzat mitjançant l'esquema mostrat en la *Figura 3.8*. Posteriorment mitjançant la transformada de Fourier discreta, hem obtingut la resposta freqüencial, per tal d'observar si compleix amb la màscara freqüencial estipulada per UWB (els límits de potència no els compleix ja que el generador de polsos utilitzat per fer la mesura no està destinat a comunicacions). Tant el generador de polsos com el mostrejador són del fabricant Geozondas.



**Figura 3.8** Esquema del sistema emprat per fer la mesura temporal de l'antena.

Per mesurar la resposta temporal de l'antena UWB, primerament s'ha mesurat la resposta temporal amb dues antenes idèntiques del laboratori (antenes del fabricant Geozondas), per tal de tenir les mesures de referència. En la *Figura 3.9* es pot observar el muntatge de les antenes Geozondas.



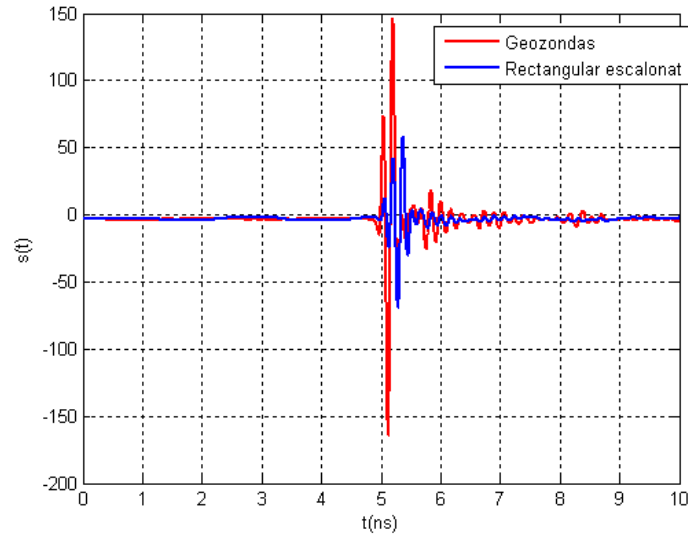
**Figura 3.9** Mesura de la resposta temporal amb antenes Geozondas.

Un cop s'ha obtingut la resposta temporal amb les antenes Geozondas, s'ha situat l'antena rectangular que s'ha dissenyat per tal de mesurar-ne la resposta impulsional (en la *Figura 3.10* es pot observar el muntatge).



**Figura 3.10** Mesura de la resposta temporal de l'antena rectangular escalonada.

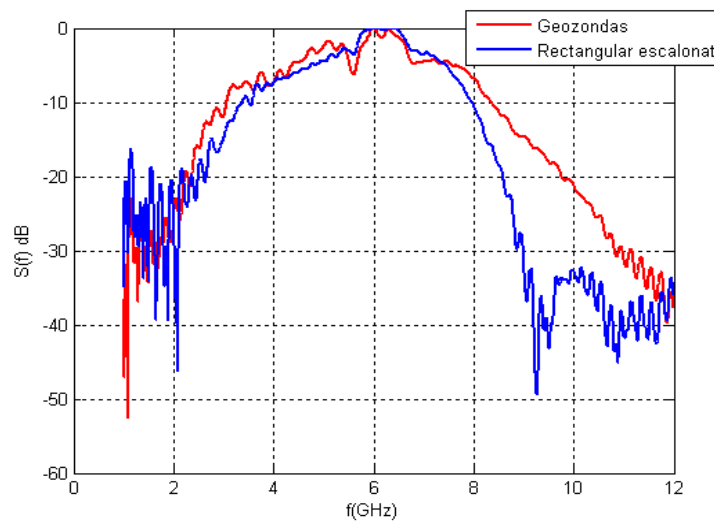
En la *Figura 3.11* es pot apreciar la forma del pols obtingut amb l'antena Geozondas i la forma del pols obtingut amb l'antena UWB dissenyada.



**Figura 3.11** Forma del pols rebut per l'antena geozondas i per l'antena rectangular escalonada.

Com podem observar en la *Figura 3.11*, amb l'antena rectangular escalonada obtenim una bona recepció del pols comparat amb el pols rebut de l'antena Geozondas. Es pot observar com el guany de l'antena rectangular és inferior al de l'antena Geozondas, obtenint però un menor arrissat de la senyal. Per tant, podem concloure que és totalment apta per la recepció de polsos UWB.

A continuació, tal i com s'ha comentat anteriorment, s'ha aplicat la transformada de Fourier discreta (DFT) per tal d'obtenir la resposta freqüencial. El resultat es pot observar en la *Figura 3.12*, comparat a l'obtingut per l'antena Geozondas.



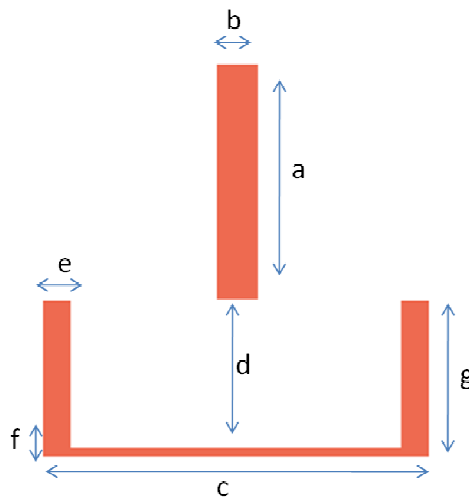
**Figura 3.12** Resposta freqüencial.

### 3.1.2 Rectangular escalonat amb slot

En aquest apartat s'ha procedit a introduir un *slot* en la part central de l'antena anterior. La introducció d'aquest *slot* ve donada per la necessitat de desadaptar l'antena en la banda de 5.5 GHz, ja que és la banda utilitzada per l'estàndard WLAN. La inclusió d'aquest *slot* farà que l'antena no emeti a la freqüència desitjada (5.5 GHz), realitzant un efecte elimina-banda (*notch*).

S'ha incorporat el *slot* en el model rectangular escalonat, per veure com afecta en l'adaptació de l'antena. La topologia del *slot* s'ha extret de la referència [2], però amb lleugeres modificacions. Per ajustar-lo correctament a la banda dels 5.5 GHz s'han variat les dimensions del *slot*.

Les diferents variacions de les dimensions dels paràmetres del *slot* les podem observar en la Taula 3.3.



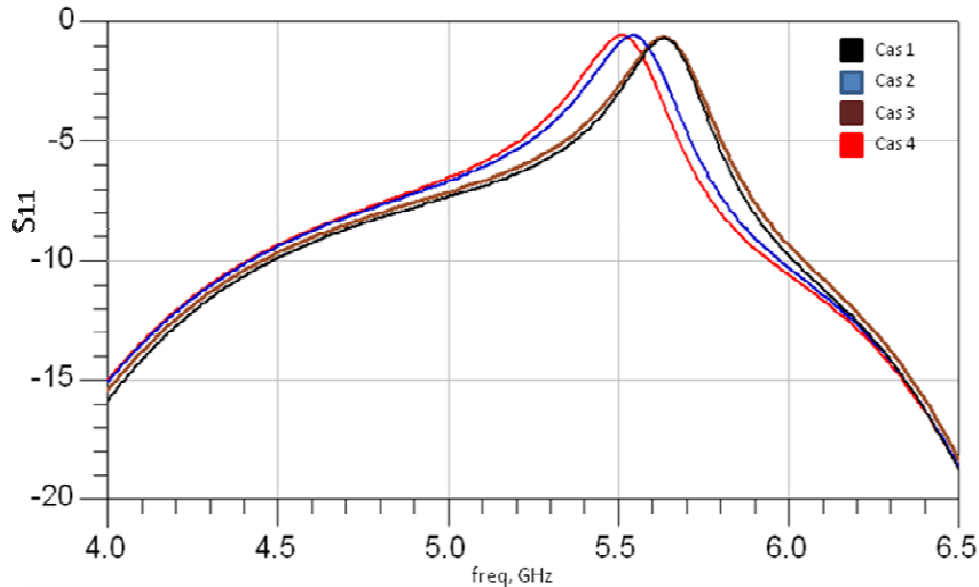
**Figura 3.13.** Dimensions del *slot*.

Casos	a	b	c	d	e	f	g
1	8	0.5	<b>7.6</b>	1	0.7	0.2	3.77
2	8	0.5	<b>8</b>	1	0.7	0.2	3.77
3	8	0.5	<b>8</b>	1	<b>0.5</b>	0.2	3.77
4	8	<b>1</b>	<b>8</b>	1	0.7	0.2	3.77

**Taula 3.3.** Diferents valors dels paràmetres del *slot*.

En la *Figura 3.14*, podem observar la resposta de l'antena per les diferents dimensions del *slot*. En el primer cas s'han modificat les mesures del *slot* inferior, per tal de veure en quina freqüència es centra el *notch*. En el segon cas s'ha augmentat la dimensió del paràmetre *c* per poder observar cap on es desplaça el *notch*. En el tercer cas, s'ha procedit a

variar el paràmetre  $\epsilon$ , ja que amb la longitud del paràmetre  $c$  que hem introduït en el segon cas en ha donat una bona resposta. Per últim s'ha variat la dimensió del *slot* superior fins acabar de centrar el *notch* als 5.5 GHz esperats.

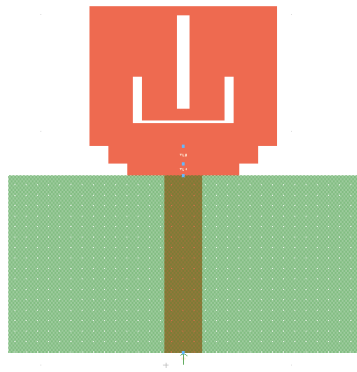


**Figura 3.14** Resposta del *notch* per diferents mesures del *slot*.

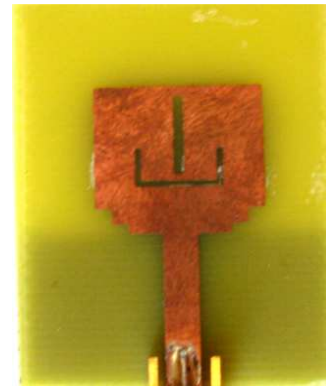
Un cop aconseguït el *notch* centrat a la banda de 5.5 GHz, procedim a fer una simulació de tota la banda freqüencial UWB. En la *Figura 3.15*, al igual que en el cas anterior, es mostren alguns dels paràmetres simulats més importants. En la *Figura 3.15.a* es mostra el layout de l'antena i en la *Figura 3.15.b* es representa una fotografia de l'antena. En la *Figura 3.15.c* i *Figura 3.15.d* podem observar la gràfica del guany disponible i la directivitat en funció de la freqüència i la gràfica de l'efectivitat respectivament. Per últim en la *Figura 3.15.d* es mostra el patró de radiació de l'antena, mentre que en la *Figura 3.15.f* podem observar la gràfica de l'adaptació de l'antena.

Observant la *Figura 3.15.e* podem veure com la inclusió del *slot* no ha afectat al patró de radiació de l'antena, tenint un guany màxim en la direcció del pla E i obtenint un guany nul en la direcció del pla H.

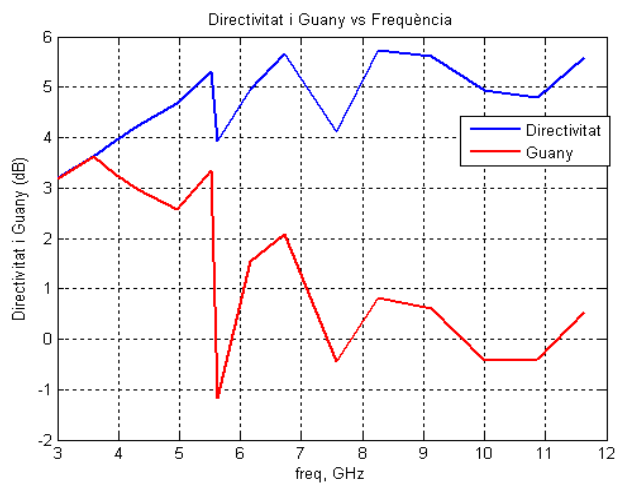
Tal i com esperàvem, la incorporació del *slot* en l'antena ens ha creat una desadaptació en la banda de 5.5 GHz (més concretament 5.563 GHz tal i com es pot observar en la *Figura 3.15.f*).



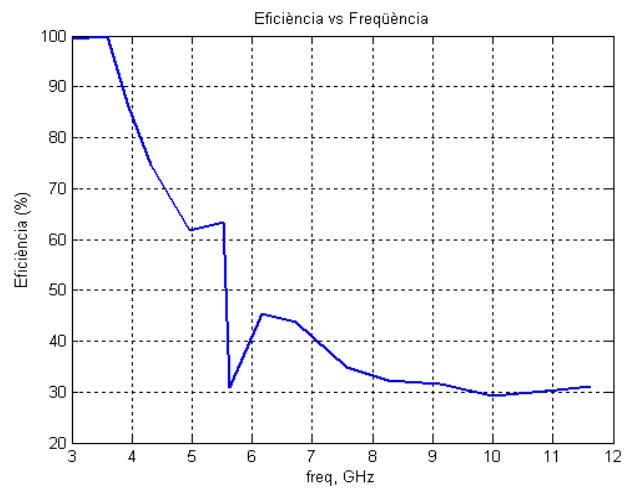
a)



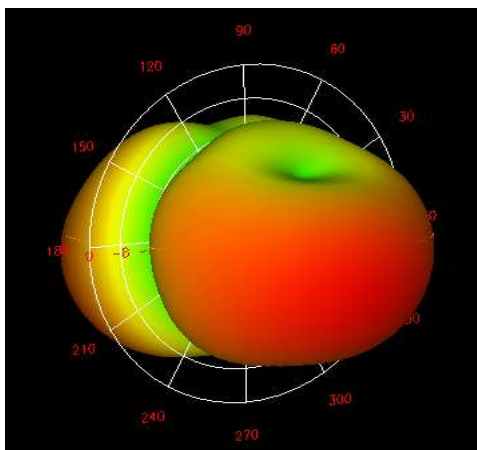
b)



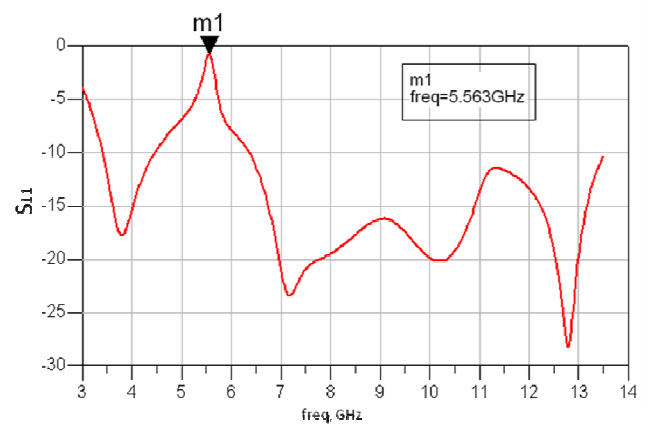
c)



d)



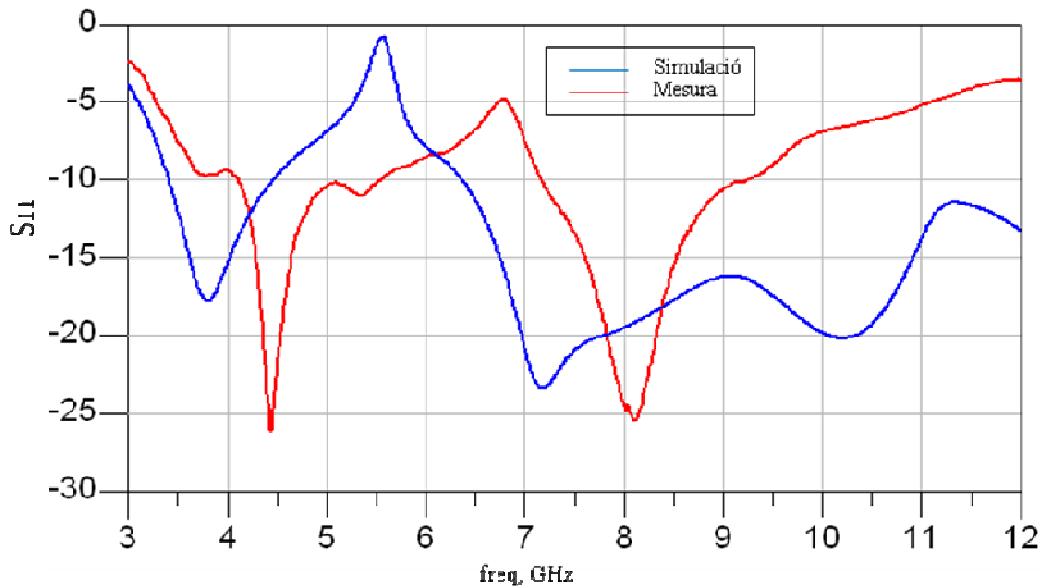
e)



f)

**Figura 3.15** a) *layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d)eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) patró de radiació a 6.5 GHz f) Gràfica d'adaptació de l'antena.

En la *Figura 3.16* es pot observar la simulació i mesura real de l'adaptació de l'antena.



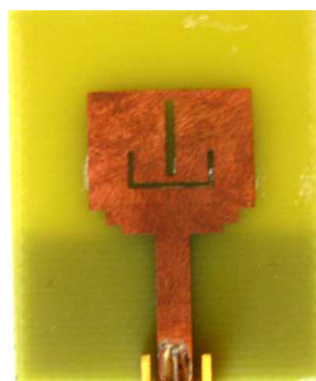
**Figura 3.16** Simulació i mesures reals de l'antena rectangular escalonada amb el *notch* en la banda dels 5.5GHz.

Es pot apreciar com la resposta mesurada segueix la mateixa forma que la resposta simulada, tenint a altes freqüències una menor adaptació. En la mesura real de l'adaptació podem observar com el *notch* s'ha desplaçat cap a freqüències més altes. Aquest desplaçament és degut a que en el procés de fabricació de l'antena s'ha hagut d'augmentar l'amplada de la part inferior del *slot* (dimensió  $f$ ), ja que amb la tecnologia que nosaltres disposem no és possible fabricar *slots* de gruix inferior a 0.5mm.

En la *Figura 3.17.a* es pot observar la imatge de l'antena amb *slot* de 0.2 mm, (s'observa que l'*slot* no existeix degut a la limitació tecnològica), mentre que la *Figura 3.17.b* mostra l'antena amb l'*slot* de 0.5 mm.



a)

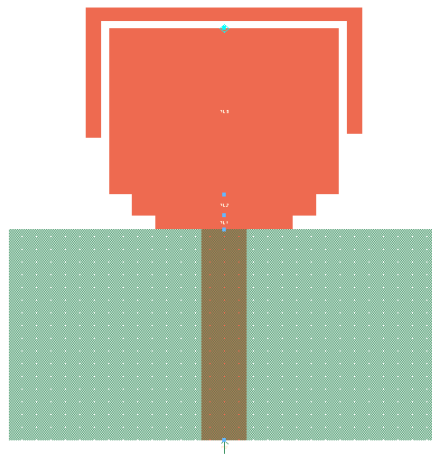


b)

**Figura 3.17** a) Fabricació de l'antena amb *slot* de 0.2 mm, b) fabricació de l'antena amb *slot* de 0.5 mm.

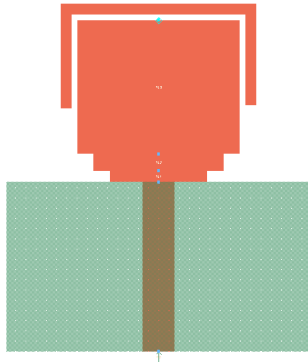
### 3.1.3 Rectangular escalonat amb línia acoblada

Un cop hem realitzat el model amb el *slot*, s'ha proposat dissenyar el model rectangular escalonat amb una línia acoblada la qual farà de ressonador a la freqüència de 5.5 GHz, obtenint de la mateixa forma el *notch*. Aquesta topologia ja es pot fabricar perfectament amb la tecnologia disponible. Les mides de l'antena i el pla de massa parcial són les mateixes que les introduïdes en el model rectangular escalonat. L'amplada de la línia ressonadora és d'un mil·límetre i la longitud és de  $\lambda/2$ , encara que s'ha hagut de retocar fins a centrar el *notch* a 5.5 GHz. El *gap* té una amplada de mig mil·límetre. El layout de l'antena és el mostrat en la *Figura 3.18*.

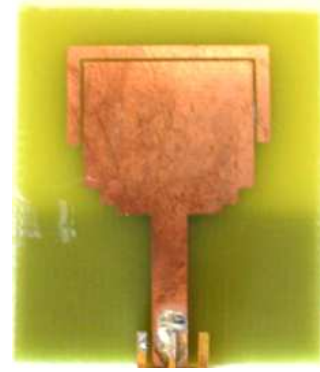


**Figura 3.18** Layout de l'antena.

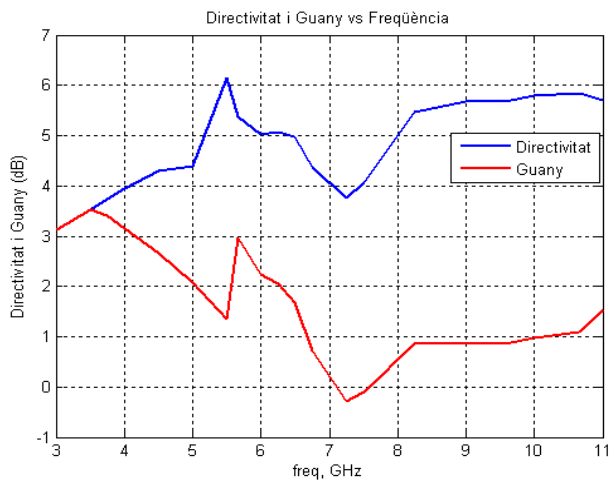
Després de realitzar diverses simulacions amb diferents dimensions de la longitud de la línia ressonadora per tal de crear una desadaptació en la banda de 5.5 GHz, tal i com s'ha comentat anteriorment, s'han representat els diferents paràmetres de l'antena (veure *Figura 3.19*), de la mateixa forma que s'ha fet en els models anteriors. En la *Figura 3.19.a* es mostra el layout de l'antena, mentre que en la *Figura 3.19.b* es mostra la fotografia d'aquesta. En la *Figura 3.19.c* i *Figura 3.19.d* es mostra el guany i directivitat en funció de la freqüència i l'eficiència respectivament. Per últim podem observar el patró de radiació (*Figura 3.19.e*) i l'adaptació de l'antena (*Figura 3.19.f*), en la qual es pot apreciar l'aparició del *notch* en la banda de 5.5 GHz.



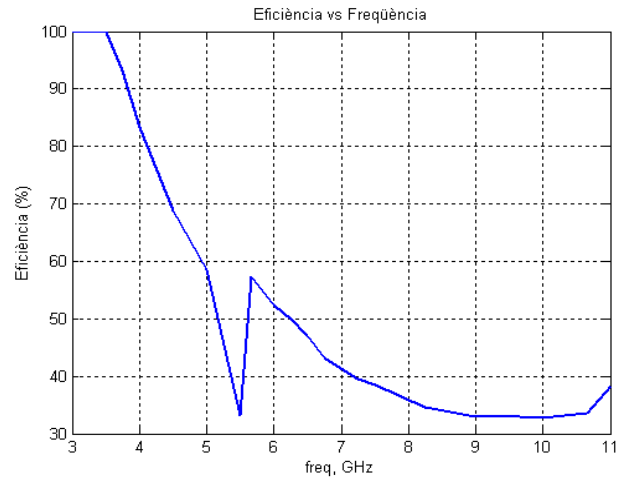
a)



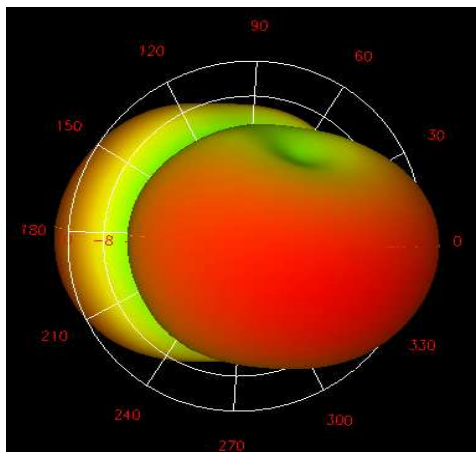
b)



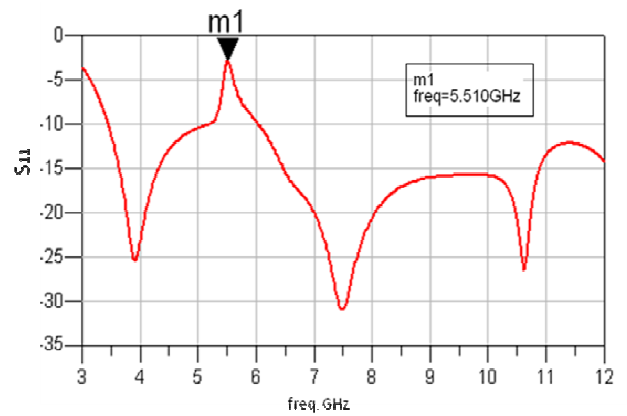
c)



d)



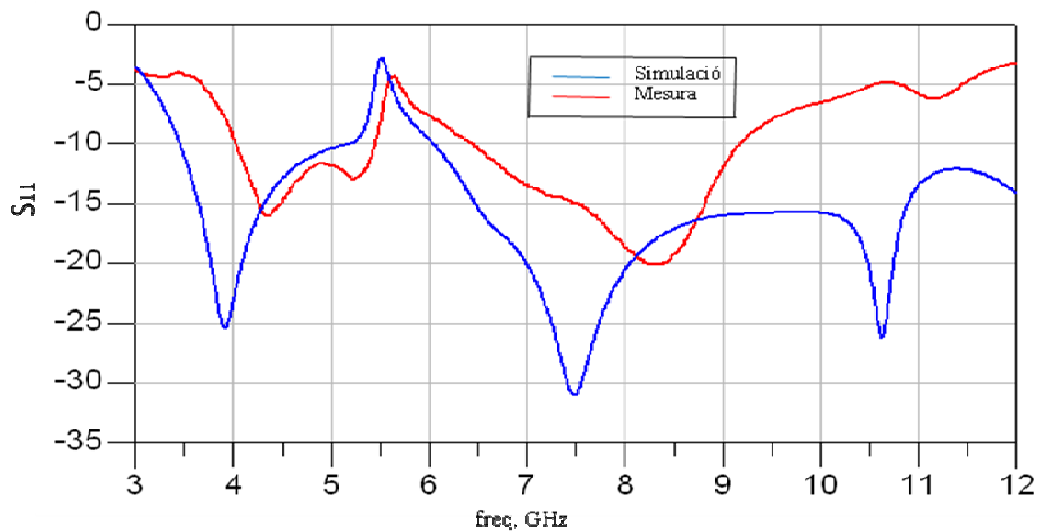
e)



f)

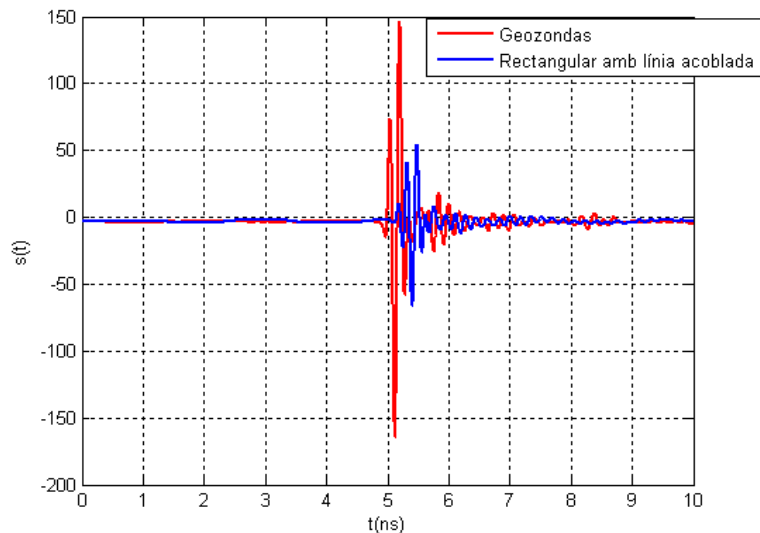
**Figura 3.19** a) *layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d)eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) patró de radiació a 6.5 GHz, f) Gràfica d'adaptació de l'antena.

En la *Figura 3.20* es mostra la simulació i mesura de la resposta de l'adaptació de l'antena. Es pot observar com el *notch* obtingut en la mesura està molt ajustat al obtingut en la simulació (degut a que no hem tingut problemes en el procés de fabricació).



**Figura 3.20** Simulació i mesures reals de l'adaptació de l'antena rectangular escalonada amb línia ressonadora.

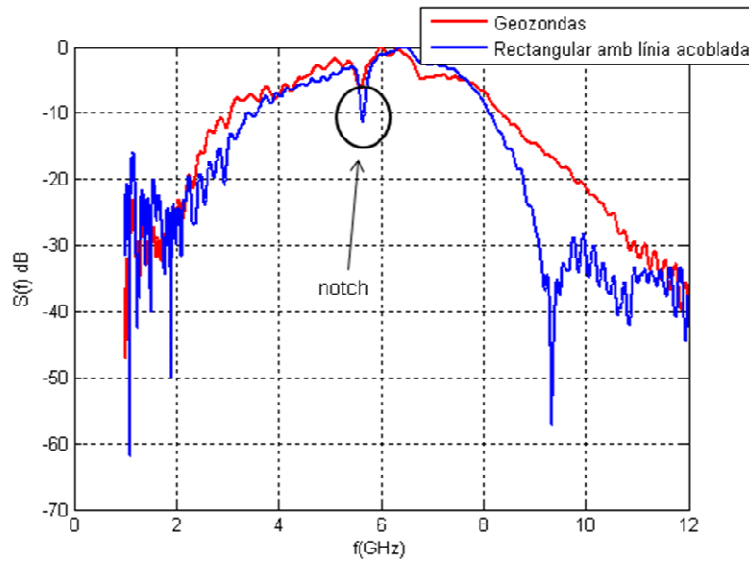
De la mateixa forma que el model rectangular escalonat, s'ha procedit a mesurar la resposta temporal de l'antena, per tal de comprovar si és òptima per ser usada per a comunicacions. En la *Figura 3.21* es mostra la resposta temporal de l'antena.



**Figura 3.21** Resposta temporal de l'antena.

La resposta temporal (*Figura 3.21*) obtinguda presenta una forma similar a la resposta temporal obtinguda amb les antenes Geozondas. El guany de l'antena podem observar que és inferior al de les antenes de referència Geozondas, així com el arissat del pols que és també inferior. Per tant podem afirmar que és apta per a ser usada en comunicacions UWB.

Un cop s'ha obtingut la resposta temporal de l'antena s'ha aplicat la transformada de Fourier discreta (DFT) per tal d'obtenir la resposta freqüencial. En la gràfica obtinguda (Figura 3.22) es pot apreciar la contribució del *notch* a la banda de 5.5 GHz.

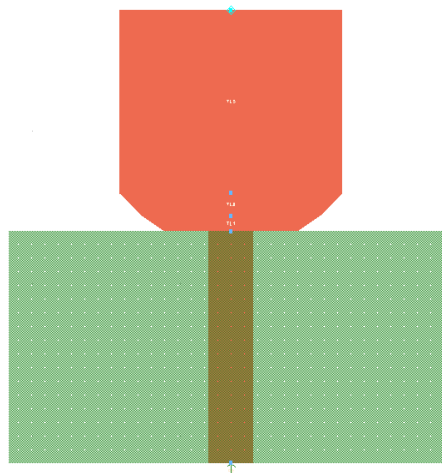


**Figura 3.22** Resposta freqüencial de l'antena.

## 3.2 Model rectangular sense escalons

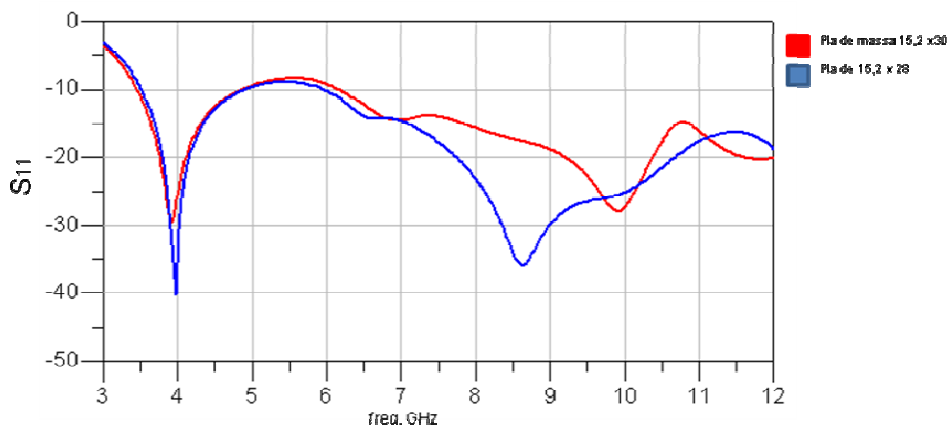
### 3.2.1 Rectangular sense escalons i sense slot

En el següent model s'ha fet ús de les mesures del model rectangular escalonat, però en aquest cas hem unit els escalons del metall perquè variï la pendent inferior de l'antena, per tal de comprovar com varia el coeficient de reflexió, i a la vegada el paràmetre  $S_{11}$ .



**Figura 3.23** Layout antena.

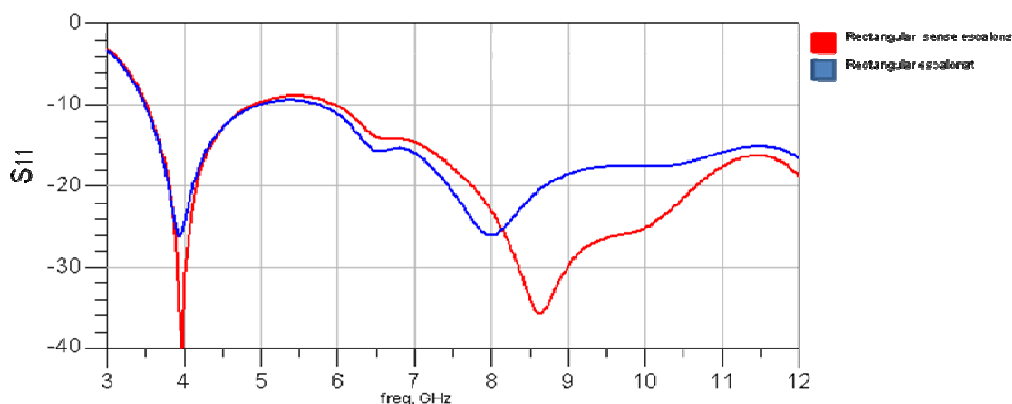
Per triar el pla de massa que més bon resultat mostrés, s'han simulat l'antena amb els dos models de pla de massa que millors resultats ens havien donat en el model rectangular escalonat (veure Figura 3.24).



**Figura 3.24** Resposta de l'antena en els dos models de pla de massa.

Com es pot observar en la *Figura 3.24*, el pla de massa que millor resposta ofereix en l'antena és el pla de massa de 15.2 x 28 mm, ja que és el que millor adaptació ens mostra en tot l'ample de banda.

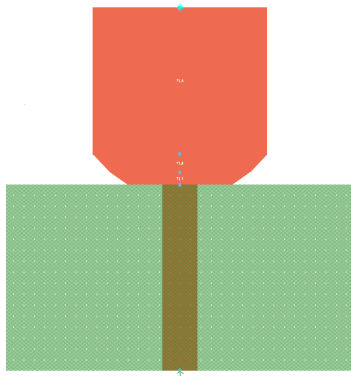
En la *Figura 3.25* es fa una comparació de la resposta de l'antena rectangular escalonada i de la rectangular sense escalons, per veure si el fet de fer més progressiva la pendent en la part inferior de l'antena influeix positivament o no en l'adaptació de l'antena, tal i com havíem esmentat.



**Figura 3.25** Comparació de la resposta de l'antena rectangular escalonada amb la rectangular sense escalons.

Es pot veure (*Figura 3.25*) com el model sense escalons ens proporciona una adaptació més bona que el model escalonat, per tant podem concloure que el fet de fer més suau els contorns de l'antena es veu reflectit amb una millor adaptació de l'antena.

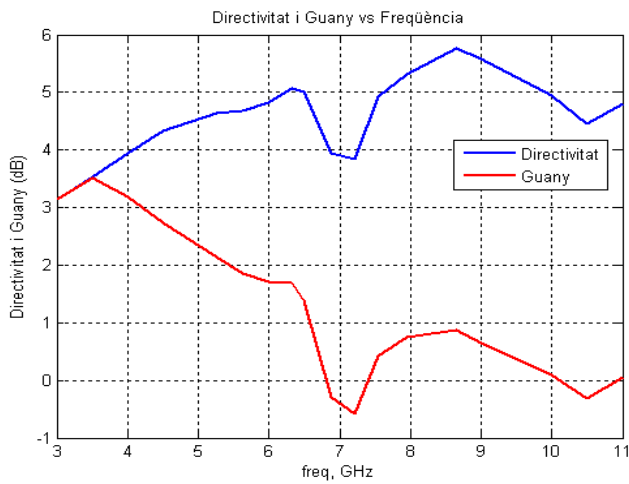
En la *Figura 3.26*, al igual que en els altres models, es mostren alguns dels paràmetres més importants de l'antena ; la directivitat i guany en funció de la freqüència (*Figura 3.26.c*), l'eficiència (*Figura 3.26.d*), el patró de radiació (*Figura 3.26.e*) i per últim l'adaptació de l'antena (*Figura 3.26.f*). El layout i fotografia de l'antena es pot observar en la *Figura 3.26.a* i *Figura 3.26.b*, respectivament.



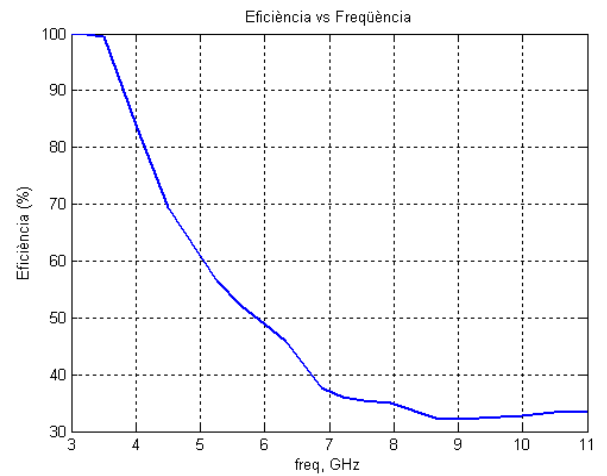
a)



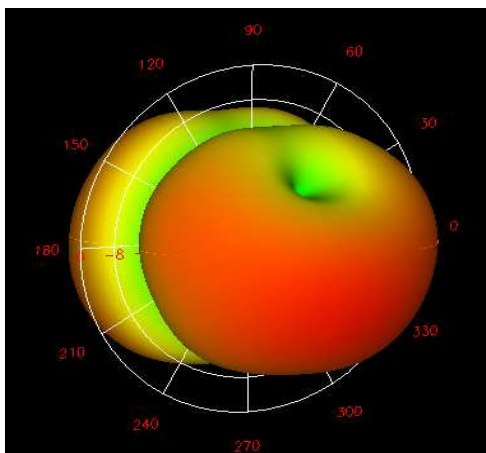
b)



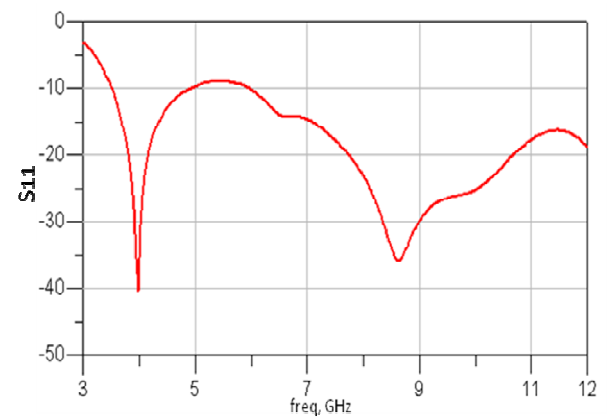
c)



d)



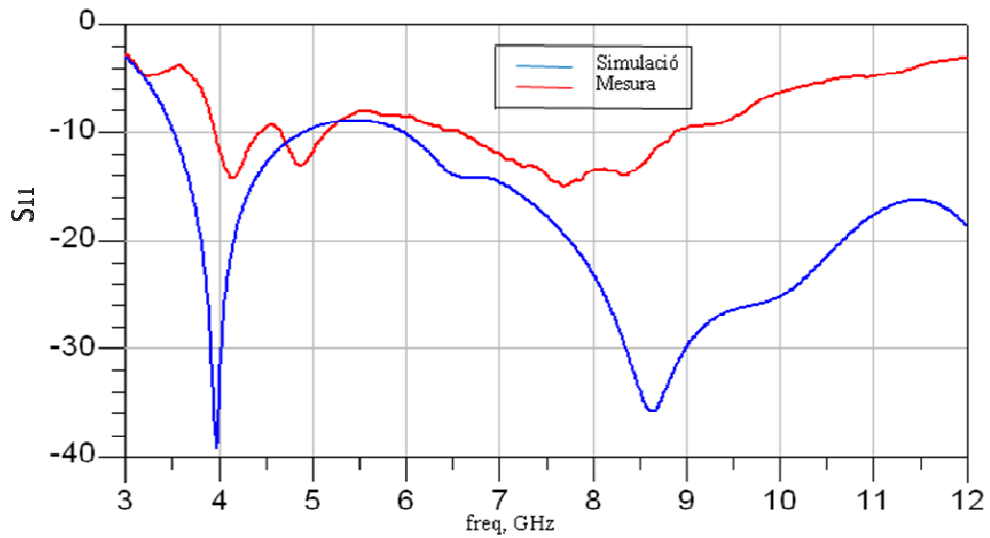
e)



f)

**Figura 3.26** a) *layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d)eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) patró de radiació a 6.75 GHz, f) Gràfica d'adaptació de l'antena.

La *Figura 3.27* representa l'adaptació de l'antena mesurada comparada a la simulada.

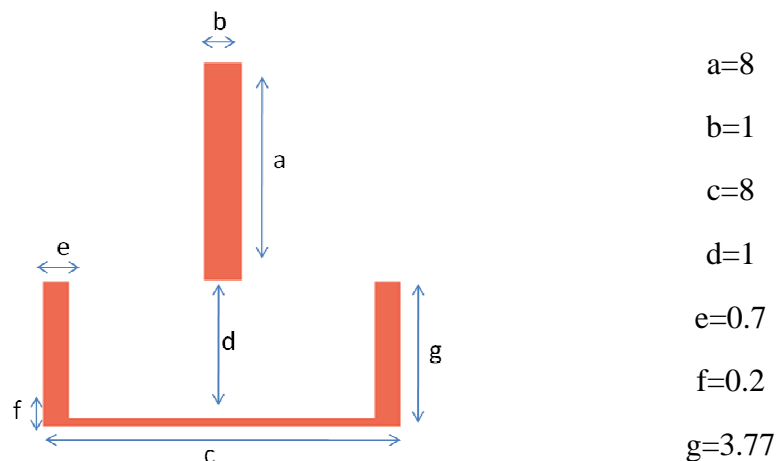


**Figura 3.27** Simulació i mesures reals de l'adaptació de l'antena.

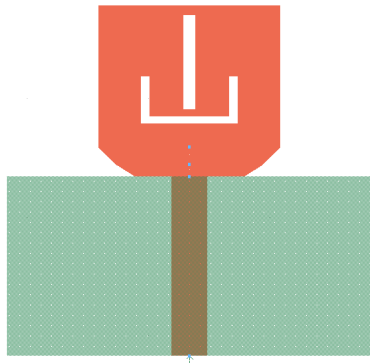
### 3.2.2 *Rectangular sense escalons amb slot.*

Després d'observar que el pla de massa de 15x28mm és el que s'escau més a les característiques buscades en aquest model, procedirem a introduir un *slot* per generar el *notch* en la banda de 5.5 GHz, usada per altres tecnologies, i que per tant hem de rebutjar tal i com s'ha esmentat anteriorment.

El *slot* que hem introduït és el mateix que s'ha usat en el model rectangular escalonat. Les dimensions del qual són les mostrades a continuació :



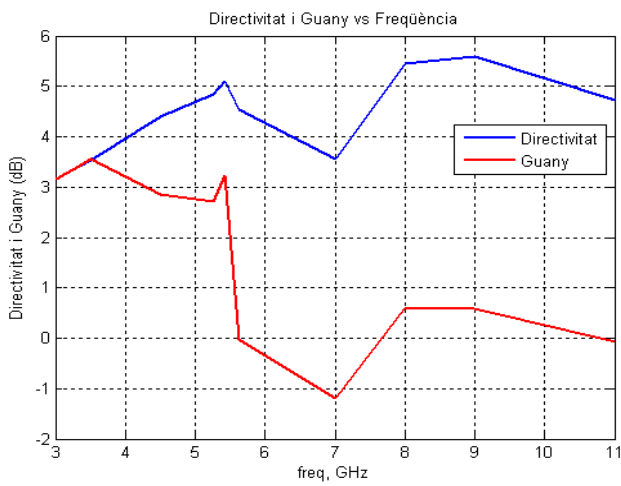
**Figura 3.28** Dimensions del *slot*.



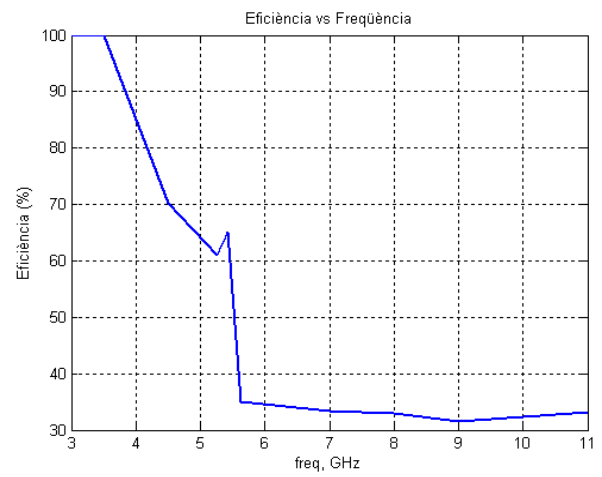
a)



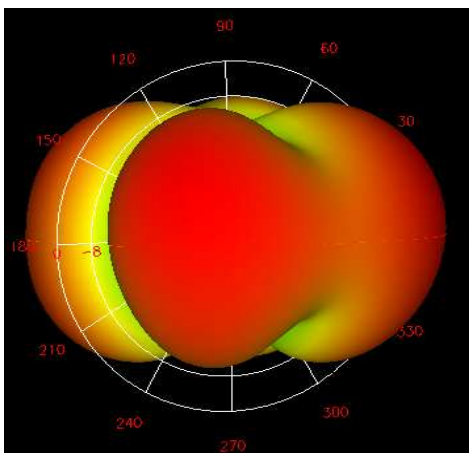
b)



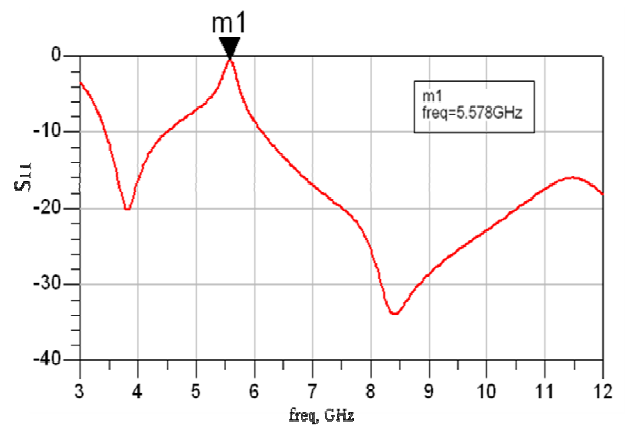
c)



d)



e)

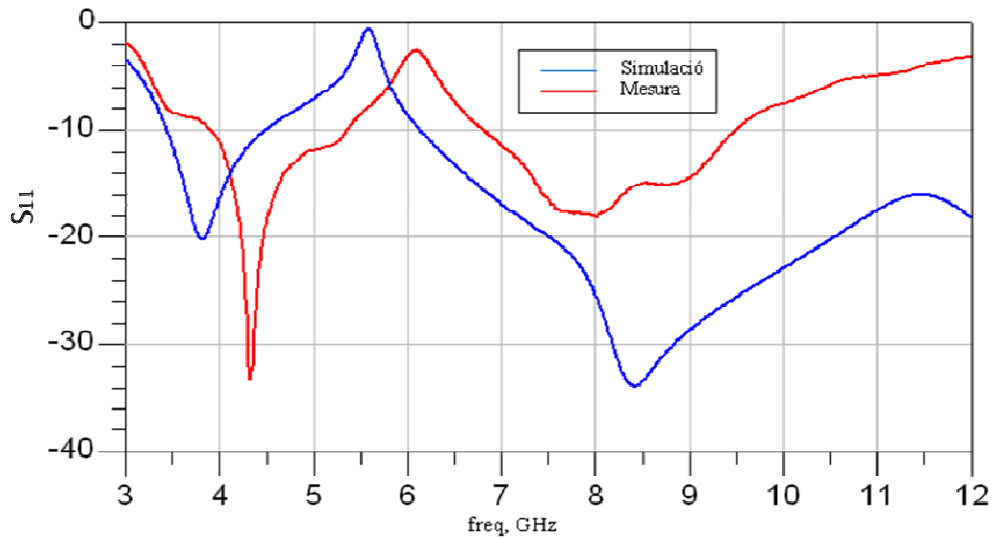


f)

**Figura 3.29** a) *layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d)eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) patró de radiació a 6.56 GHz, f) Gràfica d'adaptació de l'antena.

En la *Figura 3.29* es mostren el layout (*Figura 3.29.a*) i la fotografia (*Figura 3.29.b*) de l'antena, així com diferents paràmetres de l'antena : la directivitat i guany en funció de la freqüència (*Figura 3.29.c*), l'eficiència de l'antena (*Figura 3.29.d*), el patró de radiació (*Figura 3.29.e*) i per últim l'adaptació de l'antena (*Figura 3.29.f*).

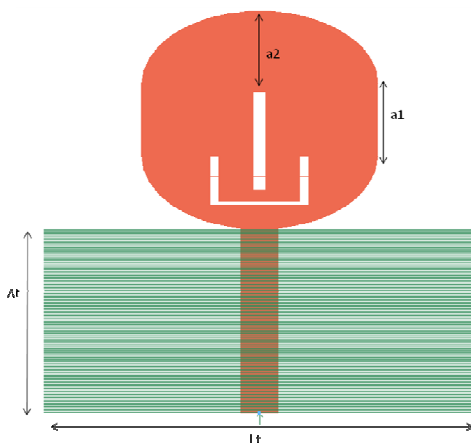
En la *Figura 3.30* es pot observar la resposta simulada i mesurada de l'adaptació de l'antena.



**Figura 3.30** Simulació i mesures reals de l'adaptació de l'antena.

### 3.3 Model ovalat amb slot

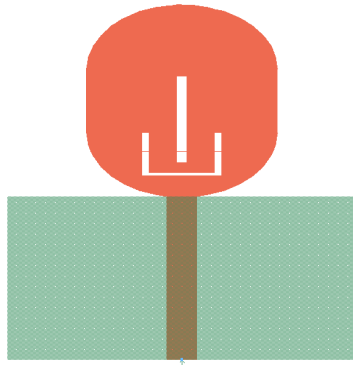
El següent model estudiat ha estat el model ovalat. El disseny s'ha basat en el model proposat en [2]. Les característiques del substrat, així com la configuració dels ports és la mateixa que els models anteriors. El disseny incorpora el mateix *slot* dels models rectangulars.



**Figura 3.31** Layout antena.

a1	6 mm
a2	6.64 mm
At	15.2 mm
Lt	35 mm

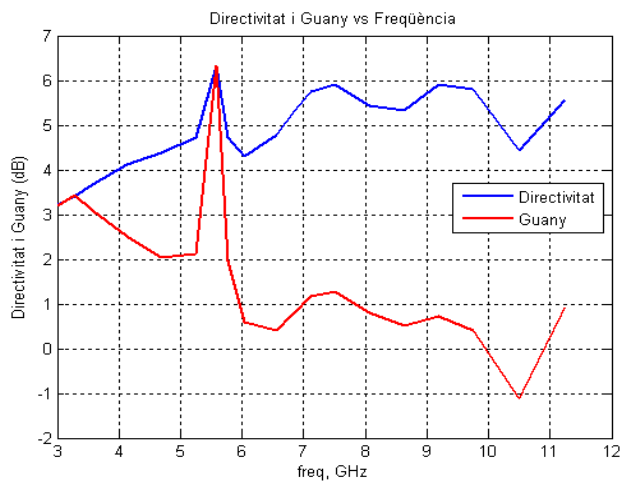
**Taula 3.4.** Dimensions de l'antena.



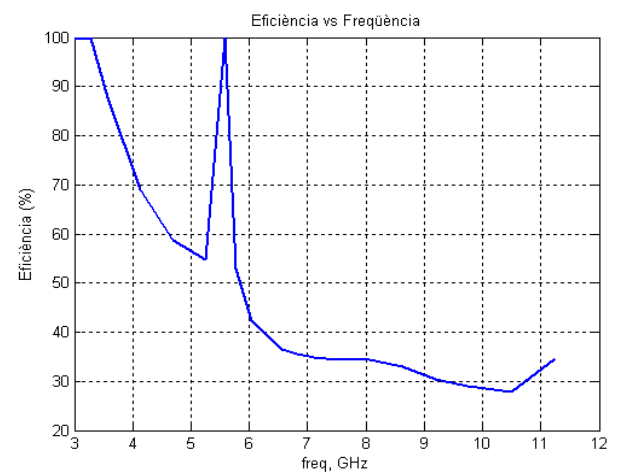
a)



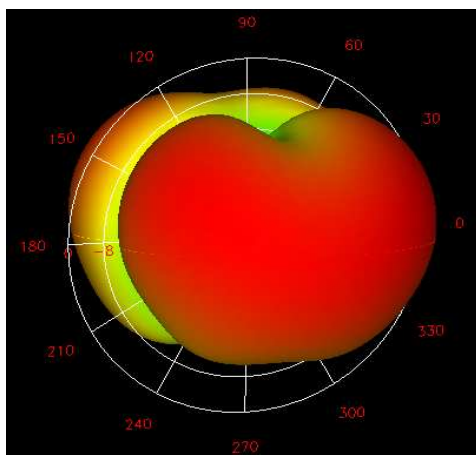
b)



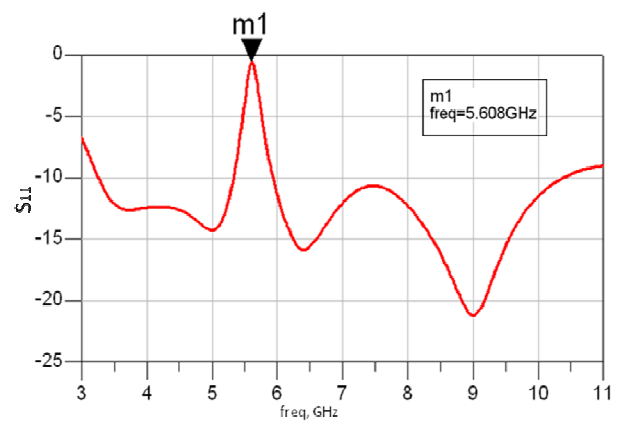
c)



d)



e)

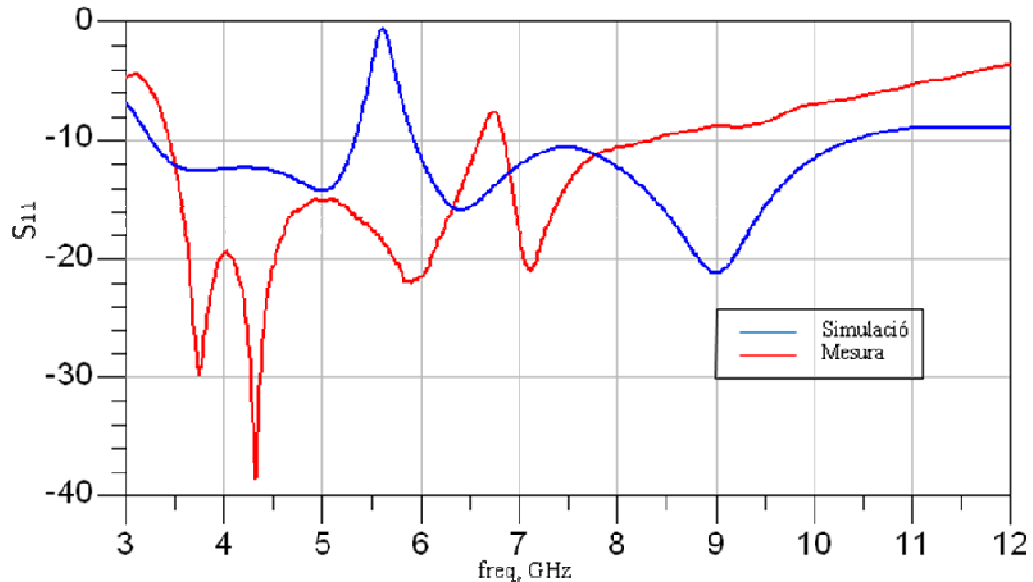


f)

**Figura 3.32** a) *layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d)eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) patró de radiació a 6.33 GHz.

Per tal d'observar el comportament de l'antena, s'han simulat diferents paràmetres de l'antena. Els paràmetres simulats són els mostrats en la *Figura 3.32*. Podem contemplar la directivitat i guany en funció de la freqüència (*Figura 3.32.c*), l'eficiència en funció de la freqüència (*Figura 3.32.f*), el patró de radiació (*Figura 3.32.e*) i l'adaptació de l'antena (*Figura 3.32.f*).

La resposta mesurada i simulada de l'adaptació que ens proporciona l'antena és la mostrada en la *Figura 3.33*.



**Figura 3.33** Simulació i mesures reals de l'adaptació de l'antena.

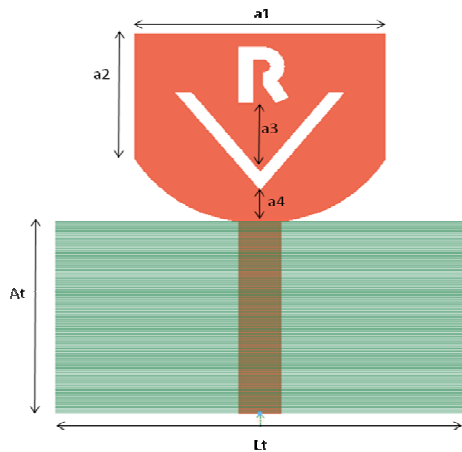
Es pot apreciar (*Figura 3.33*) com la resposta mesurada ens ha variat molt respecte a la resposta simulada, tenint el *notch* centrat a una freqüència més alta (degut al problema de fabricació esmentat anteriorment).

### 3.4 Model URV (Universitat Rovira i Virgili)

Aquest model ha estat pensat perquè, al igual que els models anteriors, operi en l'ample de banda UWB (3.1-10.6 GHz). El disseny ha estat dissenyat perquè simbolitzi les lletres URV (Universitat Rovira i Virgili). Com podem observar en la *Figura 3.34*, el metall de l'antena representa la U i els dos *slots*, un centrat a 5.5 GHz i l'altre que no afecta a la resposta dins l'ample de banda que treballa l'antena, representen la lletra V i R, respectivament.

L'antena, així com els models anteriors, està impresa sobre un substrat dielèctric de fibra. S'ha optat per utilitzar les mateixes dimensions del pla de massa que hem fet servir en els models d'antena anteriors (15.2 x 28 mm).

El layout de l'antena així com les dimensions de l'antena són les mostrades en la *Figura 3.34* i *Taula 3.5*.

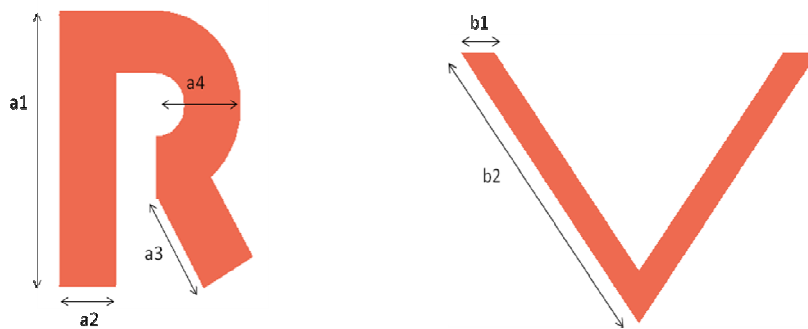


**Figura 3.34** Layout del model URV.

a1	17 mm
a2	9.9 mm
a3	5.3 mm
a4	2.5 mm
At	15.2 mm
Lt	28 mm

**Taula 3.5.** Dimensions antena.

Per tal d'aconseguir centrar el *notch* a la banda de 5.5 GHz s'ha optat per dissenyar els *slots* amb diferents formes i dimensions. Després d'ajustar les dimensions dels *slots* fins centrar-los a la freqüència desitjada, s'ha obtingut els *slots* mostrats en la *Figura 3.35*, les dimensions dels quals són mostrades en la *Taula 3.6*.

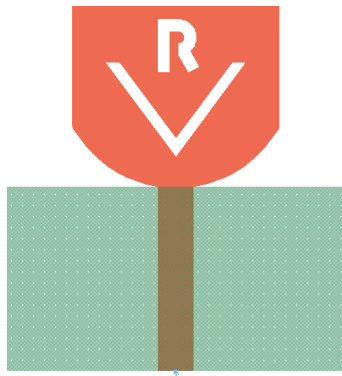


**Figura 3. 35** Layout dels *slots* R i V.

a1	a2	a3	a4	b1	b2
4.4 mm	1 mm	1.62 mm	1.5 mm	9.54 mm	0.9 mm

**Taula 3.6** Dimensions dels *slots* R i V.

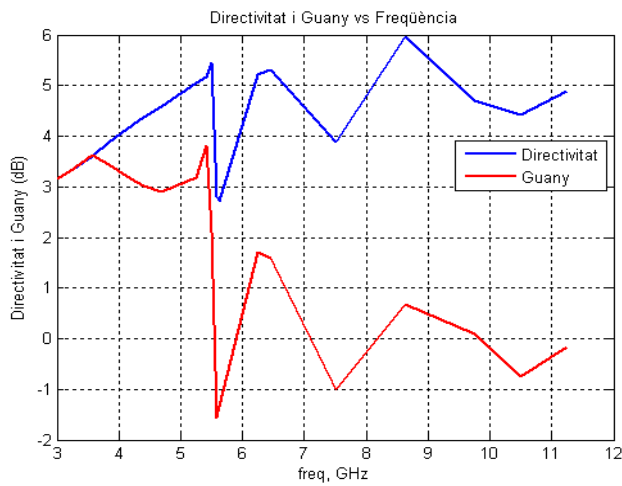
En la *Figura 3.36* es pot observar les simulacions dels diferents paràmetres de l'antena, que al igual que en els models anteriors són : el layout (*Figura 3.36.a*) i la fotografia (*Figura 3.36.b*) de l'antena, la directivitat i guany en funció de la freqüència (*Figura 3.36.c*), l'eficiència (*Figura 3.36.d*), el patró de radiació (*Figura 3.36.e*) i la gràfica de l'adaptació (*Figura 3.36.f*).



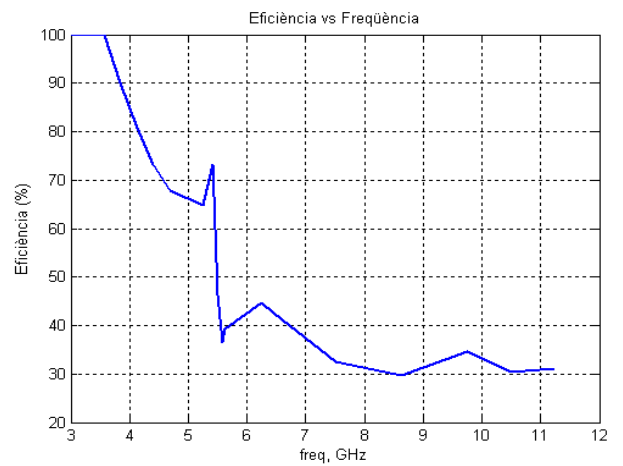
a)



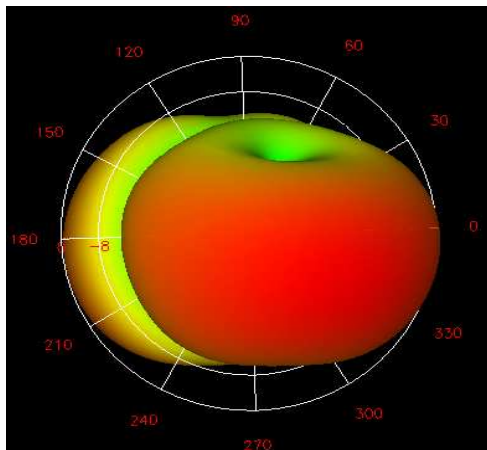
b)



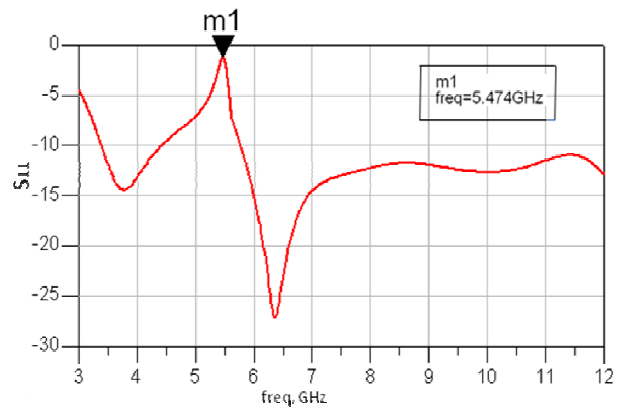
c)



d)



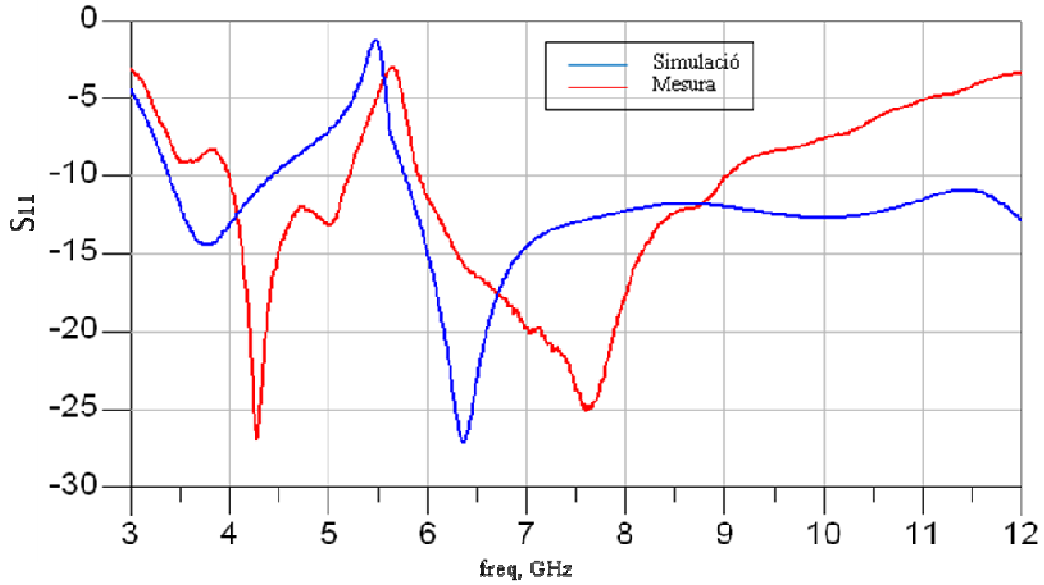
e)



f)

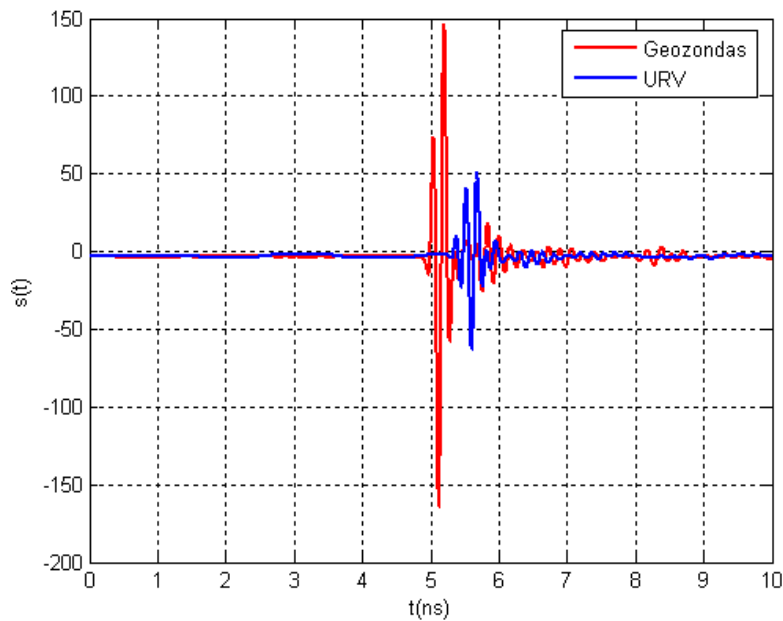
**Figura 3.36** a) *layout* de l'antena, b) fotografia de l'antena, c) Directivitat i guany en funció de la freqüència, d)eficiència de l'antena en funció de la freqüència, e) patró de radiació a 6.45 GHz.

Podem veure com la resposta de l'antena és molt bona (veure *Figura 3.37*), tenint una molt bona adaptació al llarg de tot l'ample de banda i disposant d'un *notch* molt selectiu a la banda de comunicacions WLAN.

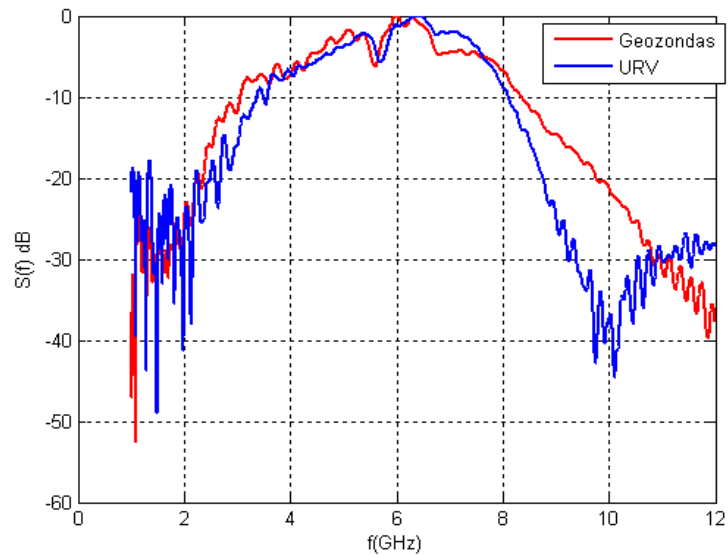


**Figura 3.37** Simulació i mesures reals de l'adaptació de l'antena.

La resposta temporal i resposta freqüencial de l'antena URV són mostrades en la *Figura 3.38* i *Figura 3.39*, respectivament.



**Figura 3.38** Resposta impulsional de l'antena.

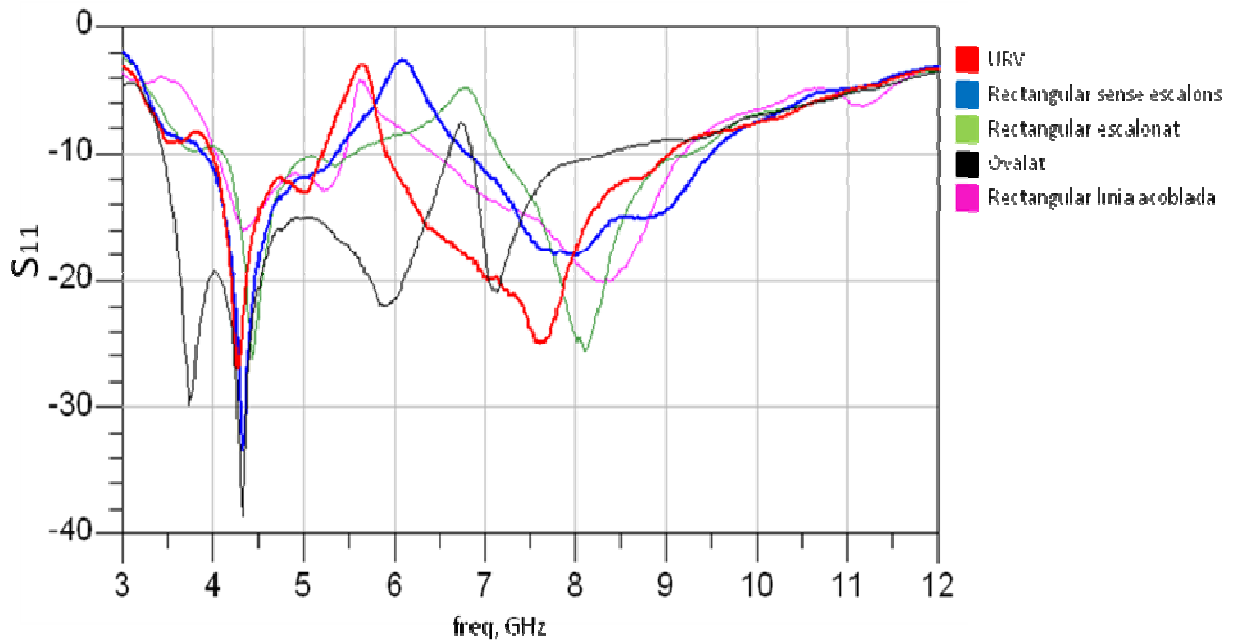


**Figura 3.39** Resposta freqüencial de l'antena.

### 3.5 Comparació de les antenes

En aquest últim apartat es mostren les gràfiques de la mesura real d'adaptació de tots els models d'antenes (amb el *notch* a 5.5GHz) dissenyats i construïts, per poder veure de forma més clara quin ha estat el model d'antena que millor resposta ens ofereix.

En la *Figura 3.40* es mostra la resposta de les mesures reals de l'adaptació dels models rectangulars (rectangular escalonat amb *slot*, rectangular sense escalons amb *slot* i rectangular escalonat amb línia ressonadora), del model ovalat i del model URV.



**Figura 3.40** Representació de les pèrdues de retorns dels models d'antenes amb *notch*.

Es pot observar com totes les antenes rectangulars tenen una resposta similar, tenint una millor adaptació a baixes freqüències el model rectangular amb escalons i el model rectangular sense escalons. En general es pot dir que el models que millor resposta mostren en tot l'ample de banda són el model rectangular sense escalons i el model URV, ja que són els que estan més ben adaptats a altes i baixes freqüències i els que mostren un *notch* més selectiu.

## Referències

- [1] S.H. Choi, J.K. Park, et al, " A new Ultra-Wideband antenna for UWB aplicacions", Microwave and optical technology letters, vol.40, No 5, March 5 2004.
- [2] T. Yuan, C-W Qui, et al, "Elliptically shaped Ultra-Wideband patch antenna with band-notch features", Microwave and optical technology letters, vol.50, No 3, March 2008.

## 4. Conclusions i línies futures

Les tecnologies wireless que existeixen actualment, com poden ser Wi-Fi o Bluetooth, van ser creades amb l'objectiu d'interconnectar aparells electrònics en un entorn sense fils i amb unes velocitats de transmissió moderades. No obstant, aquestes tecnologies presenten certes limitacions en quan a l'increment de les velocitats de transmissió, l'increment del temps d'autonomia dels aparells electrònics i la seguretat en les comunicacions. La necessitat de buscar noves tecnologies que pal·liïn aquestes mancances ha fet que la investigació i desenvolupament de sistemes UWB aparegués. UWB, tal i com hem vist en el treball, apareix com una tecnologia que intentar solucionar aquests problemes, gràcies a les seves altes taxes de dades així com els baixos nivells de potència utilitzats. Les altes velocitats de transmissió, arribant en un futur a velocitats del ordre de Gbps, fa que aquesta tecnologia pugui arribar a substituir tecnologies existents avui en dia, com per exemple Bluetooth. En quan als baixos nivells de potència de les senyals, UWB és una tecnologia que pot conviure amb altres serveis wireless, ja que la potència de les senyals UWB està per sota dels nivells d'interferència mínims dels aparells receptors d'usuaris que utilitzen altres serveis, i per tant, aquestes senyals són processades com a soroll i no produeixen interferències, fet que ofereix una certa seguretat en les comunicacions. El baix nivell de potència, alhora contribueix al fet d'incrementar l'autonomia dels aparells, necessitant d'aquesta forma el menor ús de fonts externes d'alimentació.

UWB també ofereix aspectes negatius, com ara el curt abast de les senyals. Existeix un compromís entre velocitat i abast de la senyal, ja que a mesura que ens allunyem de l'aparell transmissor o emissor es perdrà velocitat en les transmissions degut a les limitacions de potència. Per altra banda, la lenta estandardització d'UWB fa que la investigació i implantació de serveis UWB sigui també lenta.

Sens dubte, UWB és una tecnologia molt ambiciosa i amb molta projecció de futur, amb la possibilitat d'instaurar-se, en un futur, com la tecnologia wireless per excel·lència, i deixant enrere serveis wireless àmpliament utilitzats avui en dia.

En quan a les antenes estudiades i dissenyades hem tingut alguns problemes a l'hora de la fabricació de les antenes, ja que la tecnologia dels equips de fabricació no ens han permès construir *slots* inferiors a mig mil·límetre, cosa que s'ha pogut observar en el lleu desplaçament del *notch* en alguns prototipus. Hem vist que totes operen dins l'ample de banda estipulat per l'estàndard UWB, oferint unes característiques adequades per a ser usades per aplicacions UWB de comunicacions. Les antenes que millor adaptació ens ha ofert en tot l'ample de banda (3.1-10.6) han estat la rectangular sense escalons i la URV, tenint en el model URV un *notch* més estret i per tant més selectiu.

De cara al futur seria convenient utilitzar processos de fabricació d'antenes UWB amb més resolució ja que el disseny d'antenes UWB, per les seves dimensions reduïdes, un possible desajustament o variació de dimensions en el procés de fabricació pot implicar greus modificacions en l'adaptació de l'antena, tal i com s'ha anat comprovant al llarg del projecte.