

# Anàlisi de una antena amb paràsit per a operar en multibanda

**Josep Oriol Marcos Fa**  
***Grau d'Enginyeria de Tecnologies i Serveis de Telecomunicació***  
***Menció en Sistemes de Telecomunicació***

***Anàlisi d'antenes***

**Dr. Jaume Anguera Pros**  
**Dra. Aurora Andújar Linares**  
**16/01/2022**



Aquesta obra està subjecta a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)



## FITXA DEL TREBALL FINAL

<b>Títol del treball:</b>	Anàlisi de una antena amb paràsit per a operar en multibanda
<b>Nom de l'autor:</b>	<i>Josep Oriol Marcos Fa</i>
<b>Nom del consultor/a:</b>	<i>Jaume Anguera Pros, Aurora Andújar Linares</i>
<b>Nom del PRA:</b>	<i>Germán Cobo Rodriguez</i>
<b>Data de lliurament (mm/aaaa):</b>	<i>01/2021</i>
<b>Titulació o programa:</b>	Grau d'Enginyeria de Tecnologies i Serveis de Telecomunicació <i>Menció en Sistemes de Telecomunicació</i>
<b>Àrea del Treball Final:</b>	<i>Anàlisi d'antenes</i>
<b>Idioma del treball:</b>	<i>Català</i>
<b>Paraules clau</b>	<i>Element paràsit, multibanda, acoblat</i>
<b>Resum del Treball (màxim 250 paraules):</b>	
<p>La creixent demanda de dades en dispositius mòbils ha creat la necessitat d'habilitar noves bandes de telecomunicació, per aquest motiu es requereixen antenes capaces de captar totes les bandes on emeten aquest dispositius. A causa de la miniaturització dels dispositius, l'augment de bandes de comunicació i el consum d'aquests s'ha creat la necessitat de proporcionar antenes de menor mida, guany elevat, multibanda, altament eficients i econòmicament viables.</p> <p>Aquest treball es centrarà en l'estudi d'antenes microstrip pel seu baix cost de producció i disseny. Al llarg d'aquest projecte es duran tasques de simulació de diferents característiques de una antena ja dissenyada a través del software de simulació IE3D. L'anàlisi de les dades i les comparatives corresponents dels paràmetres més importants que intervenen en el disseny real d'una antena.</p> <p>L'objectiu principal d'aquest treball és analitzar i estudiar a través d'articles relacionats i simulacions com afecten les característiques externes al element de radiació i avaluar la viabilitat d'aquests.</p>	

**Abstract (in English, 250 words or less):**

The growing demand for data on mobile devices has created the need to enable new telecommunication bands, which is why antennas capable of capturing all the bands where these devices broadcast are required. Due to the miniaturization of devices, the increase in bandwidth and the consumption of these devices, the need has been created to provide smaller, high-gain, multiband, highly efficient and economically viable antennas.

This work will focus on the study of microstrip antennas due to their low cost of production and design. During this project, simulation tasks of different characteristics of an antenna already designed through the IE3D simulation software will be carried out. The analysis of the data and the corresponding comparisons of the most important parameters involved in the actual design of an antenna.

The main objective of this work is to analyze and study through related articles and simulations how the external characteristics of the radiating element affect and to evaluate their viability.

# Índex

<b>1. Introducció</b> .....	<b>1</b>
1.1 Context i justificació del Treball .....	1
1.2 Objectius del Treball.....	1
1.3 Enfocament i mètode seguit.....	1
1.4 Planificació del Treball.....	3
1.5 Conceptes Bàsics.....	4
1.5.1 Coeficient de reflexió .....	4
1.5.2 Relació d'ona estacionaria .....	4
1.5.3 Ampla de banda de la impedància .....	4
1.5.4 Directivitat.....	4
1.5.5 Eficiència de radiació i d'antena .....	5
1.5.6 Guany.....	5
1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria .....	5
<b>2. Anàlisi de l'estat del art</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1. Introducció</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2. Revisió dels articles</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Article 1: Integrated planar multiband antennas for personal communication handsets. [1].....	7
2.2.2 Article 2: Smartphone Antenna Design Covering 2G~5G Mobile Terminals. [2].....	8
2.2.3 Article 3: An Integrated Antenna System for 4G and Millimeter-Wave 5G Future Handheld Devices [3].....	9
2.2.4 Article 4: A compact planar multiband antenna for integrated Mobile devices [4] .....	10
2.2.5 Article 5: Analysis of the human head interaction in handset antennas with slotted ground planes [6].....	11
2.2.6 Article 6: Proximity Coupled Multiband Antenna [8].....	12
<b>3. Anàlisi de les característiques de l'antena</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1. Modificació dels elements radiants</b> .....	<b>13</b>
3.1.1. Escenari 1: Variació paràmetre L1 .....	17
3.1.2. Escenari 2: Variació paràmetre L4 .....	19
3.1.3. Escenari 3: Variació paràmetre W2.....	22
3.1.4. Escenari 4: Variació paràmetre W3.....	24
Seguidament es variarà el gruix del element paràsit.....	24
<b>3.2. Modificació de les característiques físiques</b> .....	<b>26</b>
3.2.1. Escenari 6: Variació elements substrat .....	26
3.2.2. Escenari 7: Modificació "Lenght" .....	29
3.2.3. Escenari 8: Modificació "Wide" .....	32
En aquest escenari també s'observaran com afecta a l'antena ampliar lateralment el "groundplane".....	32
3.2.4. Escenari 9: Modificació "Deep".....	35
3.2.5. Escenari 10: Relació tipus de substrat i el seu gruix .....	37
3.2.6. Escenari 11: Augment L1 per a la obtenció de un gran ample de banda. ....	39
<b>4. Conclusions</b> .....	<b>41</b>
<b>5. Glossari</b> .....	<b>42</b>
<b>6. Bibliografia</b> .....	<b>43</b>

## Llista de figures

Il·lustració 1 Captura software ie3d finestra configuració dielèctric .....	2
Il·lustració 2 Captura software ie3d finestra de simulació (esquerra) .....	2
Il·lustració 3 Captura pantalla software Modua .....	3
Il·lustració 4 Captura software Patternview .....	3
Il·lustració 5: Configuració de l'antena monopòl planar proposada [5]. (a) Vista superior, (b) vista inferior.....	13
Il·lustració 6 Antena modelada amb ie3d disseny base(esquerra) i amb paràsit (dreta).....	13
Il·lustració 7 Comparació de pèrdues de retorn per la antena amb i sense l'element paràsit .....	14
Il·lustració 8 Comparació guany model 0 i 1.....	14
Il·lustració 9 Carta smith model referència .....	15
Il·lustració 10 Paràmetres model referència.....	15
Il·lustració 11 Gràfiques radiació .....	16
Il·lustració 12 Pèrdues de retorn simulades en funció de L1 .....	17
Il·lustració 13 Comparació eficiència de radiació i antena segons longitud L1 .	18
Il·lustració 14 Comparació directivitat segons L1 .....	18
Il·lustració 15 Variació del guany segons L1 .....	19
Il·lustració 16 Pèrdues de retorn simulades en funció de L4 .....	20
Il·lustració 17 Comparativa eficiències segons L4.....	20
Il·lustració 18 Comparació de la directivitat segons L4 .....	21
Il·lustració 19 Comparació guany segon L4 .....	21
Il·lustració 20 Pèrdues de retorn simulades en funció de W2.....	22
Il·lustració 21 Comparació eficiències segons W2 .....	23
Il·lustració 22 Comparació guany segons W2 .....	23
Il·lustració 23 Pèrdues de retorn simulades en funció de W3.....	24
Il·lustració 24 Comparació eficiències segons W3 .....	25
Il·lustració 25 Comparació guany segons W3 .....	25
Il·lustració 26 Pèrdues de retorn per modificació del substrat.....	26
Il·lustració 27 Variació de la directivitat segons Fr .....	27
Il·lustració 28 Dades simulació Er=3.9 .....	27
Il·lustració 29 Dades Simulació Er=4.7.....	27
Il·lustració 30 Diagrama de radiació per les freqüències de ressonància en FR4.7 (dalt) i FR3.9 (sota).....	28
Il·lustració 31 Gràfiques Smith per Er=3.9 i Er=4.7 .....	28
Il·lustració 32 Model 3D L=78mm.....	29
Il·lustració 33 Paràmetres S11 segons llarg.....	29
Il·lustració 34 Comparació eficiència de radiació segons L.....	30
Il·lustració 35 Variació directivitat segons Lenght.....	30
Il·lustració 36 Comparació del guany segons L.....	31
Il·lustració 37 Paràmetres segons ample .....	32
Il·lustració 38 Comparació eficiència de radiació segons W.....	33
Il·lustració 39 Comparació eficiència de antena segons W .....	33
Il·lustració 40 Comparació directivitat segon amplada .....	34
Il·lustració 41 Comparació del Guany segons W.....	34
Il·lustració 42 Paràmetres segons gruix .....	35
Il·lustració 43 Comparació eficiència de radiació segons gruix .....	35
Il·lustració 44 Comparació directivitat segons el gruix.....	36
Il·lustració 45 Comparació guany segons el gruix.....	36

Il·lustració 46 Relació S11 Gruix-Material .....	37
Il·lustració 47 Comparació eficiència de radiació D-Fr .....	37
Il·lustració 48 Comparació de les directivitats .....	38
Il·lustració 49 Guany en relació D i Fr .....	38
Il·lustració 50 Comparativa dels diferents paràmetres de W=70 mm,L1=43 mm .....	39
Il·lustració 51 Diagrames de radiació a freqüències de ressonància W=70 mm L1=43 mm .....	40

# 1. Introducció

## 1.1 Context i justificació del Treball

En l'actualitat les comunicacions inal·làmbriques formen part de la vida quotidiana de les persones ja sigui per orientar-se, comunicar-se o obtenir informació. Per tal de dur a terme aquestes accions es requereix del ús de dispositius mòbils, els quals evolucionen a millors especificacions utilitzant un volum menor d'espai. Aquest dispositius per tal de poder treballar requereixen de la capacitat de comunicar-se amb altres dispositius que facilitin l'obtenció de la informació necessària mitjançant enllaços electromagnètics. Degut a la quantitat finita de freqüències disponibles i característiques necessàries es fa necessari l'ús de transductors que siguin capaços de fer un ús eficient del consum de potència mentre que rebin les freqüències normalitzades per al tipus de comunicació. Un altre dels motius es deu a la evolució dels estàndards els quals han requerit que freqüències anteriorment destinades a altres serveis s'incloguin en les especificacions dels dispositius mòbils. Tot aquest requeriments es tenen en compte a la hora de dissenyar els sistemes necessaris per tal de garantir que el dispositiu sigui capaç de operar correctament dintre un marge definit bastant ampli que requereix de una antena ben adaptada. Actualment s'utilitzen múltiples antenes adaptades a diferents marges freqüencials per al correcte rendiment del dispositiu als diferents serveis. Aquest projecte vol analitzar la viabilitat de una única antena que cobreixi totes les necessitats de connexió del dispositiu.

## 1.2 Objectius del Treball

Els objectius d'aquest treball son:

- Analitzar, dissenyar i simular estructures amb el software IE3D.
- Estudiar i investigar com afecta a l'antena microstrip seleccionada la variació de diferents paràmetres
- Adquirir els coneixements per al disseny d'antenes microstrip i simulació dels resultats paramètrics.

## 1.3 Enfocament i mètode seguit

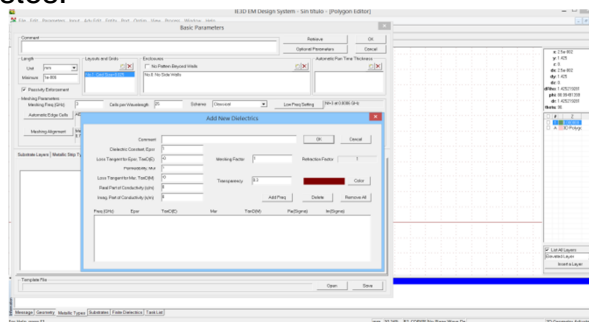
Per a la realització d'aquest treball s'han estudiat diferents escenaris mitjançant la variació dels paràmetres de l'antena i a través d'articles relacionats amb la temàtica d'investigació escollida.

Per a la simulació d'aquests escenaris s'ha utilitzat el software IE3D. Aquest software permet el disseny d'escenaris complexos a través d'editors visuals en 2D i 3D, a més a més d'eines per a l'anàlisi de paràmetres com son

les pèrdues de reflexió, els diagrames de radiació, l'eficiència d'antena, l'eficiència de radiació, corrents elèctriques, de diversos escenaris simultàniament.

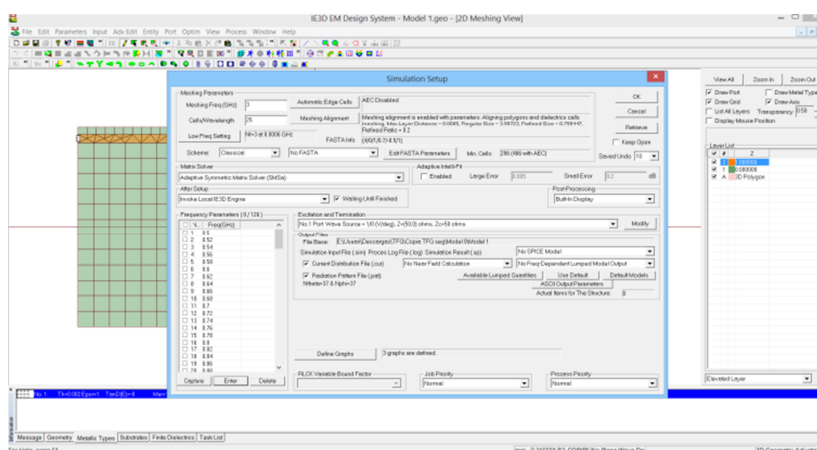
Per començar, cal elaborar el disseny base. Mitjançant el programa Mgrid del software IE3D s'introduiran el paràmetres bàsics com el gruix de les pistes, les característiques del substrat, etc...

Seguidament es procedeix a la elaboració del disseny predeterminat amb el posicionament de les pistes i del substrat mitjançant les formes predissenyades o bé mitjançant coordenades. Un cop s'ha introduït la forma, cal la introducció de un punt d'alimentació situat al lateral i estarà connectat a les dues pistes.



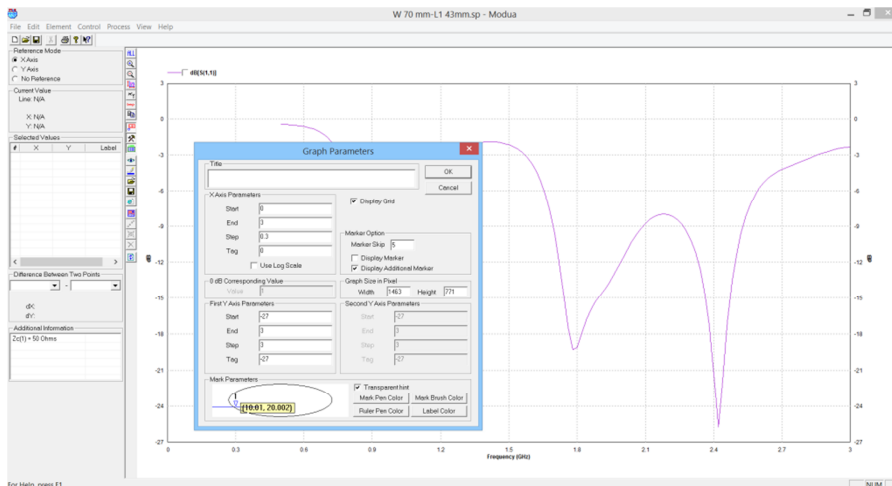
II-lustració 1 Captura software ie3d finestra configuració dielèctric

A continuació s'especificaran el paràmetres de simulació com ara el nombre de cel·les per longitud d'ona que utilitzarà, tipus de simulació, tipus de arxius generats i el nombre de freqüències que s'analitzaran. Per facilitar els càlculs amb nombres senzills i també degut a que l'amplada màxima dels canals de freqüència, es faran simulacions cada 20MHz. Un cop realitzat el primer disseny únicament cal realitzar petites modificacions segons les característiques que es vulguin estudiar i realitzar la simulació. Un cop la simulació s'hagi completat, amb els altres programes es poden observar els resultats obtinguts i presentar-los.



II-lustració 2 Captura software ie3d finestra de simulació (esquerra)

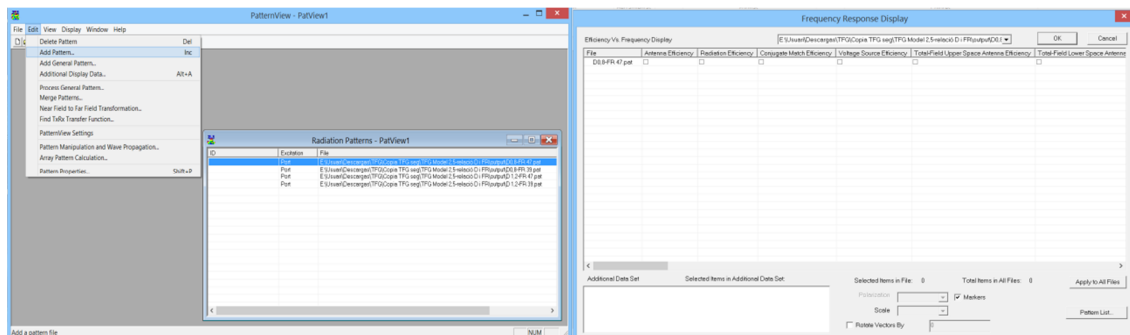
Per la representació de les dades s'utilitzaran el software modua per a la visualització de les pèrdues de retorn i les taules de Smith, mentre que per a les eficiències, guany, visualitzacions 2D i 3D de les radiacions i la directivitat s'utilitzarà el software Patternview.



II-Il·lustració 3 Captura pantalla software Modua

Per una millor observació de les dades les gràfiques es configuren amb eix de freqüència inici 0.5GHz final 3 GHz i salts de 0.1GHz mentre que al vertical per que coincideixi amb ROE=3 i 2 (-6dB i -9.5dB) comença a 1dB intervals de 3.5 i finalitzi a 30.5dB. Mitjançant File>Parameter File Queue es pot agrupar diferents simulacions en una gràfica permetent la comparació de les diferents modificacions.

Una altre de les funcions es que mitjançant el botó dret permet guardar els punts de la gràfica o bé els seleccionats per marcar les bandes de freqüència en el format XML que es pot executar amb el propi navegador i fins hi tot treballar amb excel.



II-Il·lustració 4 Captura software Patternview

A la il·lustració 4 dreta es mostra que es poden assignar múltiples simulacions a una gràfica mitjançant el botó PatternList a la part inferior dreta. Un cop seleccionats S'aplica a tots els arxius (botó de sobre) i es dona el OK.

## 1.4 Planificació del Treball

La planificació d'aquest treball s'ha basat en una lectura inicial dels materials proporcionats i la familiarització amb el programari, seguidament la simulació de les dades. Durant el temps d'espera de les simulacions realitzar la recerca dels articles necessaris i un cop finalitzades les simulacions iniciar la elaboració de la documentació.



## 1.5 Conceptes Bàsics

### 1.5.1 Coeficient de reflexió

El coeficient de reflexió permet quantificar les pèrdues produïdes per la desadaptació entre element mitjançant les impedàncies dels element o mitjançant la proporció del voltatge reflectit que rep l'element final mitjançant les següents equacions:

$$\Gamma_L = S_{11} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{V_r}{V_i}, S_{11}(dB) = 20 \cdot \log(S_{11}) = (-\infty, 0]$$

**Equació 1. Coeficient de reflexió**

### 1.5.2 Relació d'ona estacionaria

Aquest paràmetre també serveis per la quantificació de la desadaptació de impedàncies mitjançant les interferències constructives i destructives produïdes a l'ona per el voltatge reflectit. És sol utilitzar per indicar la pèrdua de potència per la desadaptació d'impedàncies, aquesta pèrdua pot causar interferències en el transmissor i ha de estar delimitada . Es caracteritza per les següents equacions:

$$ROE = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r} = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|}, ROE(dB) = 20 \cdot \log(ROE)$$

**Equació 2. Relació d'ona estacionaria**

### 1.5.3 Ampla de banda de la impedància

L'amplada de banda d'impedància d'una antena defineix el rang de freqüències que presenten un coeficient de reflexió inferior a un determinat valor, el qual sol ser el ROE. En aquest treball s'estudiarà l'ús per a dispositius mòbils, aquest solen requerir un ROE  $\leq 3$  com a mínim i un es sol utilitzar típicament valors de 2 i es calcula:

$$BW(ROE = S, \%) = \frac{f_2 - f_1}{\frac{f_2 + f_1}{2}} \cdot 100$$

**Equació 3. Ample de banda de la impedància**

### 1.5.4 Directivitat

Aquest paràmetre indica la concentració de potència radiada en una direcció concreta respecte les restants en comparació a una distribució uniforme. En el cas de antenes molt directives apareix també l'angle sòlid, aquest s'encarrega de mesurar l'obertura del feix principal radiat a partir de la separació entre els dos punt on la potència es redueix a la meitat del punt màxim.

### 1.5.5 Eficiència de radiació i d'antena

L'eficiència de radiació ( $\eta_r$ ) defineix la proporció de la potència que pot radiar respecte la entregada.

L'eficiència de radiació ( $\eta_a$ ) defineix la proporció de la potència radiada al espai respecte a la entregada per un generador a causa de les pèrdues òhmiques i de desadaptació.

$$\eta_a = \eta_r \cdot (1 - |S_{11}|^2)$$

**Equació 4. Eficiència d'antena**

### 1.5.6 Guany

El guany indica el nivell de conversió entre la potència i el camp elèctric produït per una antena i es pot calcular:

$$G = D \cdot \eta_a = D \cdot \eta_r \cdot (1 - |S_{11}|^2)$$

**Equació 5. Guany d'antena**

## 1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

La memòria està dividida en quatre seccions. Inicialment, es fa una breu introducció al treball, amb els conceptes bàsics i les eines necessàries per al desenvolupament dels escenaris d'estudi. Al capítol 2 és tracta la recerca de antenes multibanda dissenyades per a dispositius mòbils . Al capítol 3 és produeix la replicació del disseny de la antena seleccionada i les posteriors modificacions.

A l'últim capítol es presenten les conclusions, valoracions i deliberació dels resultats obtinguts.

## 2. Anàlisi de l'estat del art

### 2.1. Introducció

Degut a la creixent necessitat de dades dels dispositius s'ha fet necessari tecnologies cada cop més complexes i més dependents del espai radioelèctric. Des de l'aparició de la telefonia mòbil (1G) amb velocitats de 14kbps, després 2G amb 9 kbps, 2.5G amb velocitats de 59-120kbps (GPRS) i 384kbps (EDGE) on s'utilitza les bandes 900 i 1800 MHz, 3G amb velocitats entre 144kbps i 7.2 Mbps aquestes millores anaven acompanyades amb increments en l'ús del ample de banda mitjançant l'ús de la banda 2100MHz. No va ser fins el 4G que es va millorar l'ús eficient del espectre electromagnètic mitjançant tècniques de multiplexació per divisió de freqüències ortogonals, el que permetia que els canals freqüencials es solapessin sense causar pèrdues ni interferències i l'ús de les bandes 800 MHz, 1500 MHz i 2600MHz el que va permetre velocitats de fins a 150 Mbps. I finalment estem posant els primers passos cap al 5G amb velocitats de 1 a 3 Gbps, el qual requerirà de un major ús de freqüències com ara les bandes 600-700 MHz, 3-4 GHz, 26-28 GHz y 38-42 GHz ocupant en l'actualitat la 700 i 3500. No obstant també s'ha de tenir en compte les bandes de 2.4 GHz i 5 GHz que donen altres serveis.

Degut a la gran varietat de bandes utilitzades, s'han investigat diferents tecnologies de antenes integrables en dispositius portàtils sense que aquest afectin en l'estètica actual (no sobresurtin de la forma rectangular). Alguns exemples són les antenes SMD on l'antena és un element extern a la placa dels components, les antenes en format chip soldades a les PCB, les antenes impreses en les PCB i les antenes en 3D.

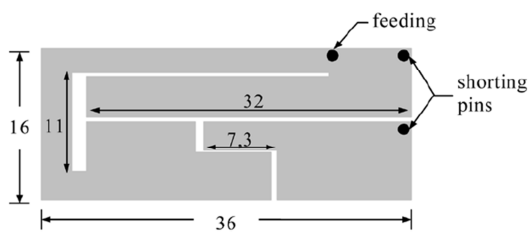
### 2.2. Revisió dels articles

## 2.2.1 Article 1: Integrated planar multiband antennas for personal communication handsets. [1]

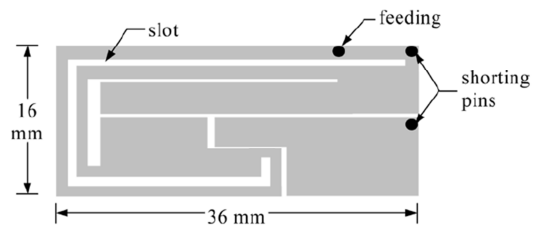
En aquest article es proposa una antena tipus PIFA basada en un pla metàl·lic curtcircuitat per uns pin i alimentat per un sonda. Aquest pin proporciona una ressonància doble al voltant als 900 MHz i 1800 MHz. Al perímetre hi ha incrustat un filtre de línia d'esperó la longitud de qual esta calibrada per produir un nou mode ressonador i al trobar-se en paral·lel a les pegats laterals no presenta una influencia significant.

Un altre dels avantatges és la sintonització més precisa modificant la posició del punt de alimentació en la part superior del pegat i la introducció de un pegat paràsit acoblat de manera capacitiva al element radiador principal habilitant el treball en les bandes GSM900, GSM1800 i PCS1900.

Per tal de augmentar més l'ample de banda de treball sense modificar les dimensions de l'antena s'introdueix una ranura de  $\lambda/2$  en la branca principal de radiació. Aquest disseny ha donat eficiència de antena superior al 60% en totes les bandes que transmissió.



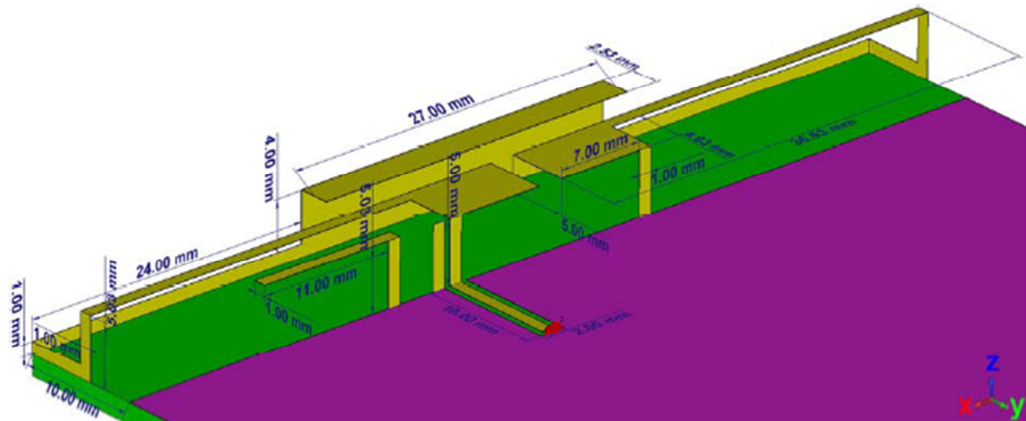
Triple-band antenna layout (units in mm).



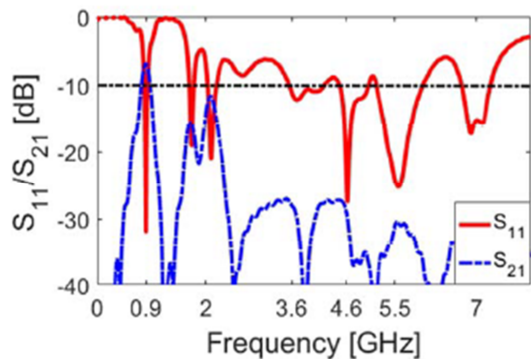
Quad-band integrated antenna layout.

## 2.2.2 Article 2: Smartphone Antenna Design Covering 2G~5G Mobile Terminals. [2]

Un dels temes actuals per als sistemes de transmissió és el MIMO el qual permet modificar a on dirigeix les senyals i per la mateixa potència radiada obtenir millors directivitats utilitzant les característiques de les agrupacions de antenes. Aquest article proposa utilitzar dos antenes PIFA distribuïdes en 3D i volum  $10 \times 75 \times 5 \text{ mm}^3$ , en un substrat FR4 ( $\epsilon_r = 4.4$ ) i tangent de pèrdues 0.025 i gruix de 1.6 mm i que comparteixen el pla de terra.



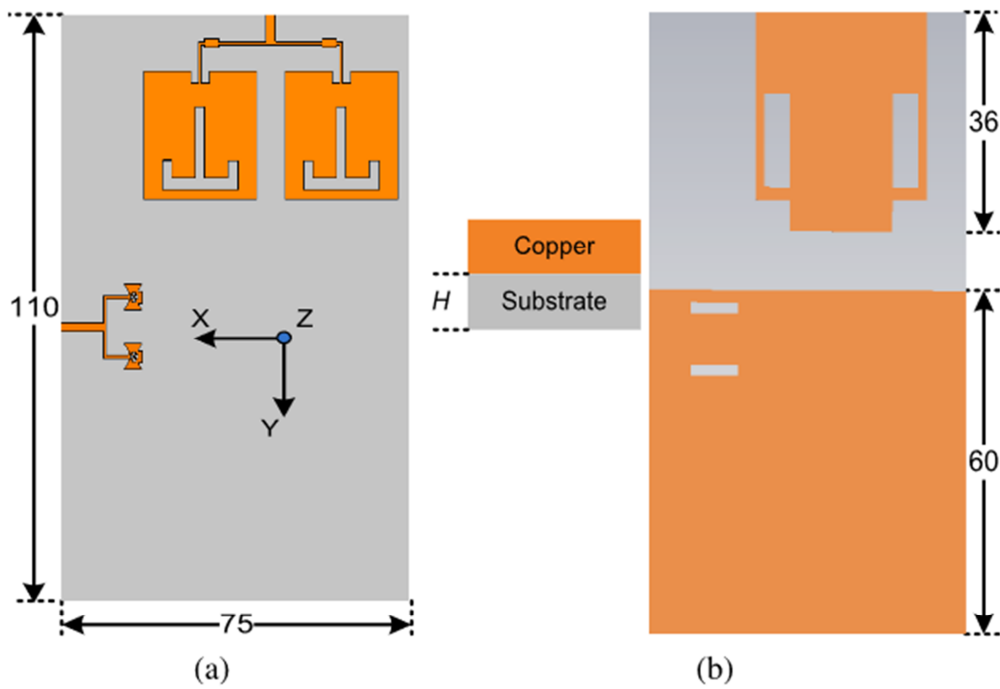
Aquest disseny dona la majoria de bandes de operació valors de ROE < 2 i en especial una banda ampla entre 3.6 i 6 GHz. No obstant aquest disseny ha de tenir en compte els problemes produïts per l'acoblament de les dues antenes.



Els estudis d'aquest article es basen en una antena de telefonia de un element. Aquesta antena consta de un bucle que actua com element de radiació i dos elements paràsits. Aquesta antena es col·locarà als extrems del pla de terra. També proporciona un estudi de les interferències causades per les extremitats.

### 2.2.3 Article 3: An Integrated Antenna System for 4G and Millimeter-Wave 5G Future Handheld Devices [3]

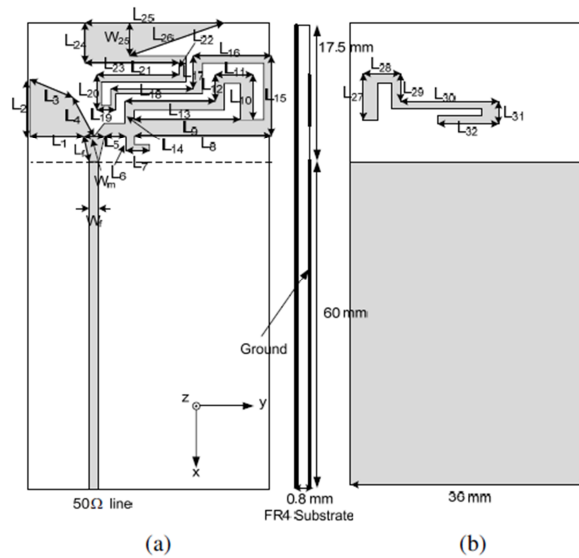
Aquest article tracta de dos arrays de dos antenes per cobrir les bandes de 4G i 5G, l'antena esta ubicada en un substrat de  $110 \times 75 \times 0.508 \text{ mm}^3$ , permitivitat de 2.2 i pèrdua tangencial de 0.0009. En l'article s'especifiquen el càlculs implicats en cada array i s'estudia els efectes de interferència entre els arrays, els guanys, la eficiència, radiació i bandes de treball.



2.2.4 Article 4: A compact planar multiband antenna for integrated Mobile devices [4]

Aquest article analitza l'afectació de diferents tècniques en el disseny de una antena tipus PIFA per a l'obtenció de operacions multibanda i millora del rendiment. Mitjançant les tècniques estudiades en aquest article s'avaluen tècniques com ranures en forma de L i U, obertures fractals, elements paràsits capacitius curtcircuitats i ranures individuals, múltiples ranures, la seva longitud, forma de F i rectangular. També altres tècniques com causar punts on la pista redueix el seu gruix, afegir ranures obertes en la capa de terra, realitzar ranures incrustades i mitjançant forats en el pegat que radia.

La antena que proposa esta formada de un pedaç de radiació de  $17.5 \times 36 \text{ mm}^2$  alimentada per una línia microstrip, mentre que el pla de terra està col·locat a l'altre cara del substrat i té unes dimensions de  $60 \times 36 \text{ mm}^2$  i un substrat FR4 ( $\epsilon_r = 4.4$ ).



Com es pot veure en la figura la antena consta de 4 ramificacions, una branca triangular a l'esquerra un "stub" proper al terra, una que forma un bucle i finalment una de llarga que voreja el perímetre de la regió de l'antena. Cada branca té per objectiu una banda independent, no obstant aprofita l'acoblament produït per la proximitat entre les dos últimes branques afecta a les freqüències de ressonància i impedància de les altres. A més en aquest disseny l'element paràsit permet rebre una altra banda. Donant els següents resultats:

Applications	Resonant Frequency(GHz)	Peak Gain(dBi)	Total Efficiency(%)
GSM (890-960 MHz)	0.94 GHz	2.89 dBi	61.71 %
DCS (1.71-1.88 GHz)	1.82 GHz	3.32 dBi	68.98 %
PCS (1.85-1.99 GHz)	1.90 GHz	4.37 dBi	82.00 %
UMTS (1.92-2.17 GHz)	2.16 GHz	4.03 dBi	69.31 %
WLAN (2.4-2.48 GHz)	2.48 GHz	1.62 dBi	42.05 %
Wi-MAX (3.3-3.8 GHz)	3.60 GHz	5.15 dBi	73.31 %
WLAN (5.15-5.35 GHz)	5.15 GHz	5.91 dBi	50.52 %
WLAN (5.725-5.875 GHz)	5.85 GHz	3.52 dBi	43.07 %

## 2.2.5 Article 5: Analysis of the human head interaction in handset antennas with slotted ground planes [6]

En l'article s'estudia com afecta la col·locació de diferents ranures al pla de terra. També indica que hi ha una relació entre l'ample de banda i la longitud del pla de terra.

El document preveu la anàlisi de 5 configuracions entre les quals es troba la de un pla sense ranures per utilitzar com a referència. Aquestes simulacions es realitzaran mitjançant una antena PIFA situada a 6 mm per sobre del pla de terra i de dimensions 100 mm x 40 mm.

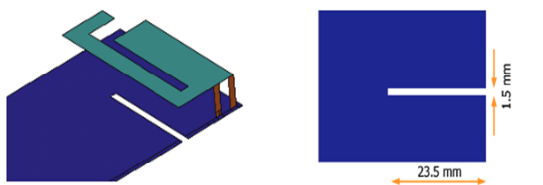


Figure 2a. The PIFA with one open-ended slot: a three-dimensional view of the antenna's design and a front view of the ground-plane geometry.

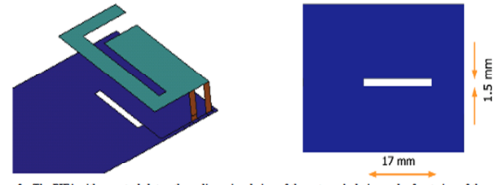


Figure 2c. The PIFA with a central slot: a three-dimensional view of the antenna's design and a front view of the ground-plane geometry.

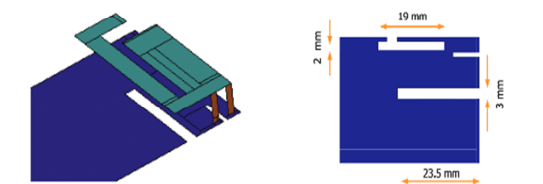


Figure 2b. The PIFA with two open-ended slots: a three-dimensional view of the antenna's design and a front view of the ground-plane geometry.

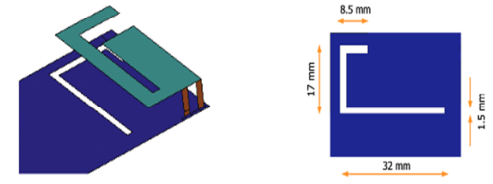


Figure 2d. The PIFA with a U-shaped slot: a three-dimensional view of the antenna's design and a front view of the ground-plane geometry.

	$f_1$ (GHz)	$f_2$ (GHz)	BW(%) ( $SWR \leq 3$ )	$f_1$ (GHz)	$f_2$ (GHz)	BW(%) ( $SWR \leq 3$ )
Dual-band PIFA	0.904	1.046	14.6	1.934	2.100	8.2
PIFA+open-ended slot	0.809	1.016	22.7	1.767	2.054	15.0
PIFA+central slot	0.924	1.036	11.4	1.958	2.123	8.1
PIFA+U-shaped slot	0.904	1.091	18.8	1.939	2.221	13.6
PIFA+2 open-ended slots	0.824	1.022	21.4	1.773	2.463	32.6

Frequency (MHz)	Total Antenna Efficiency (%)								
	Dual-Band PIFA	PIFA + Open-Ended Slot	$\Delta$ dB	PIFA + Central Slot	$\Delta$ dB	PIFA + U-Shaped Slot	$\Delta$ dB	PIFA + 2 Open-Ended Slots	$\Delta$ dB
824	18.5	47.5	4.1	27.2	1.7	25.4	1.4	53.7	4.6
850	27.6	60.1	3.4	33.9	0.9	31.5	0.6	62.1	3.5
890	50.1	70.9	1.5	47.8	-0.2	49.3	-0.1	66.9	1.3
920	65.9	71.2	0.3	53.7	-0.9	55.6	-0.7	69.2	0.2
960	75.3	65.1	-0.64	59.6	-1.0	64.6	-0.7	68.1	-0.4
1710	8.1	23.0	4.5	7.8	-0.2	7.5	-0.3	31.4	5.9
1800	20.2	60.8	4.8	15.9	-1.0	16.0	-1.0	68.6	5.3
1900	54.4	68.7	1.0	39.5	-1.4	37.4	-1.6	66.2	0.9
2000	68.2	73.7	0.3	69.8	0.1	63.9	-0.3	58.6	-0.7
2100	51.4	43.3	-0.8	67.2	1.2	56.7	0.4	57.4	0.5
2200	26.7	17.3	-1.9	34.6	1.1	41.0	1.9	68.0	4.1
2300	19.9	12.8	-1.9	21.1	0.3	22.0	0.4	71.9	5.6
2400	13.9	9.4	-1.7	13.4	-0.2	13.1	-0.2	61.7	6.5
2500	12.3	7.5	-2.2	12.1	-0.1	8.5	-1.6	45.3	5.7

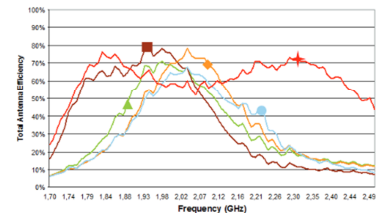
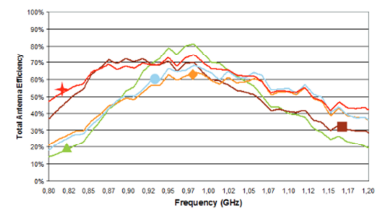


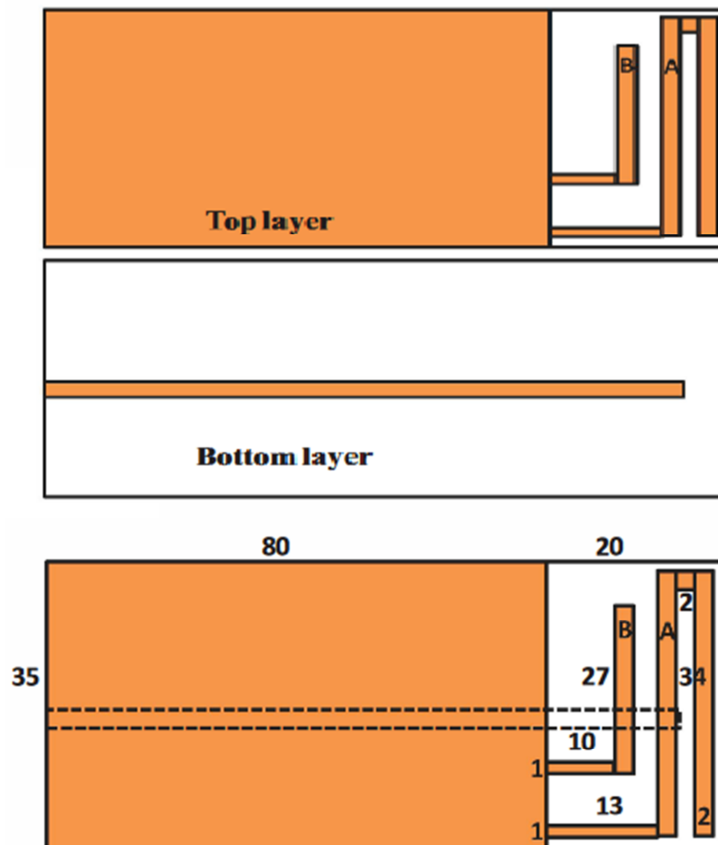
Figure 6. The measured total antenna efficiencies of the five prototypes.

Amb els resultats s'observa que ha excepció al de la ranura central s'ha obtingut una millora dels amplex de banda, mentre que la de dos ranures obertes en un extrem obté una millora general de la directivitat.



## 2.2.6 Article 6: Proximity Coupled Multiband Antenna [8]

En l'article es descriu un antena planar impresa formada per dos radiadors corbats microstrip curtcircuitats a terra en un extrem i alimentada per acoblament per una línia microstrip de  $50\Omega$ , impresa a la cara oposada del PCB, i excita els dos radiadors en la posició d'alimentació òptima. Aquest disseny té molta semblança a una configuració PIFA amb la diferència que aquest disseny permet la introducció de punts de ressonància o bandes de operació sense modificar les característiques existents.

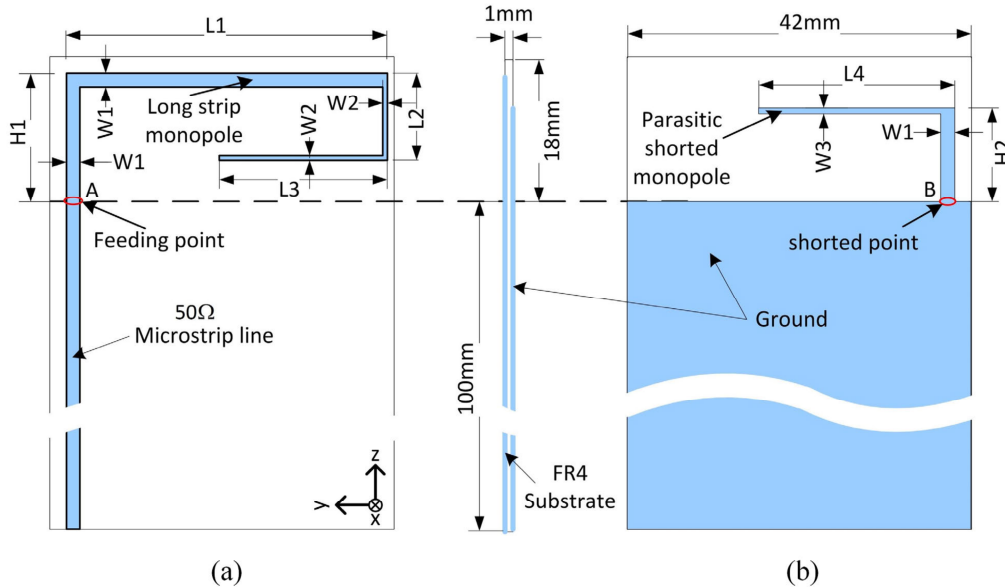


El radiador A és responsable per la banda baixa, mentre que el radiador B és de la alta. El punt de alimentació es troba col·locat de manera que des de aquest fins el final obert del element radiador hi ha una distància de  $\lambda/4$  i actua com l'element ressonant, mentre que la secció restant fins el curtcircuit té com a funció la adaptació de la carga i es similar als PIFA on l'adaptació de la impedància s'obté mitjançant el posicionament del punt de alimentació i el punt de curtcircuit. Aquest disseny permet un ample de banda de 500 MHz abastant les bandes 1700-2200 MHz on es troben bona part de les bandes de comunicació mòbil, mentre només obté un ample de banda de 40 MHz a la banda 900 MHz.

### 3. Anàlisi de les característiques de l'antena

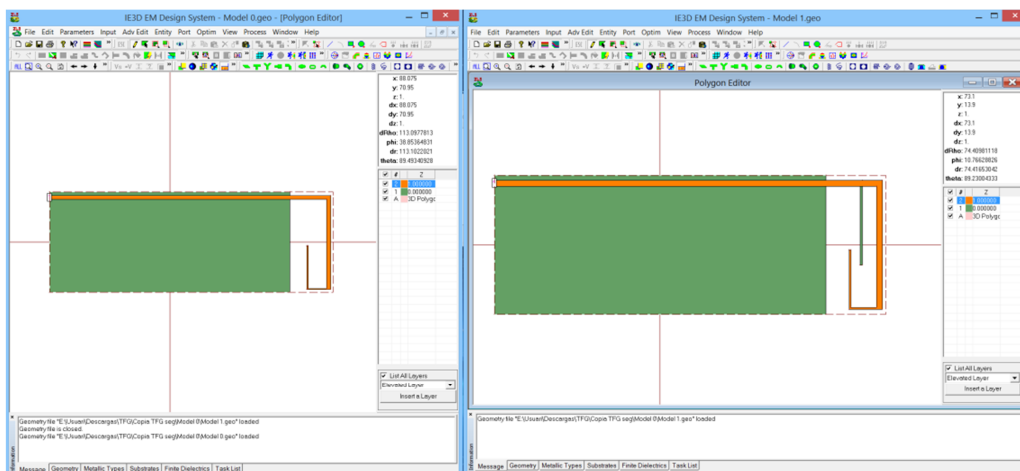
#### 3.1. Modificació dels elements radiants.

Aquest projecte té com a objectiu analitzar els efectes de variar de certs paràmetres de una antena planar monopòl de dimensions 118x42x1 mm<sup>3</sup> i amb un substrat FR4 ( $\epsilon_r = 4.4$ ) amb una tangent de pèrdues de 0.02, tal com està il·lustrat a les il·lustracions 5 i 6 . Els elements radiants de l'antena estan impresos en una superfície de 17x39 mm<sup>2</sup> per ambdues cares situada en un dels extrems de la placa sense presa de terra.



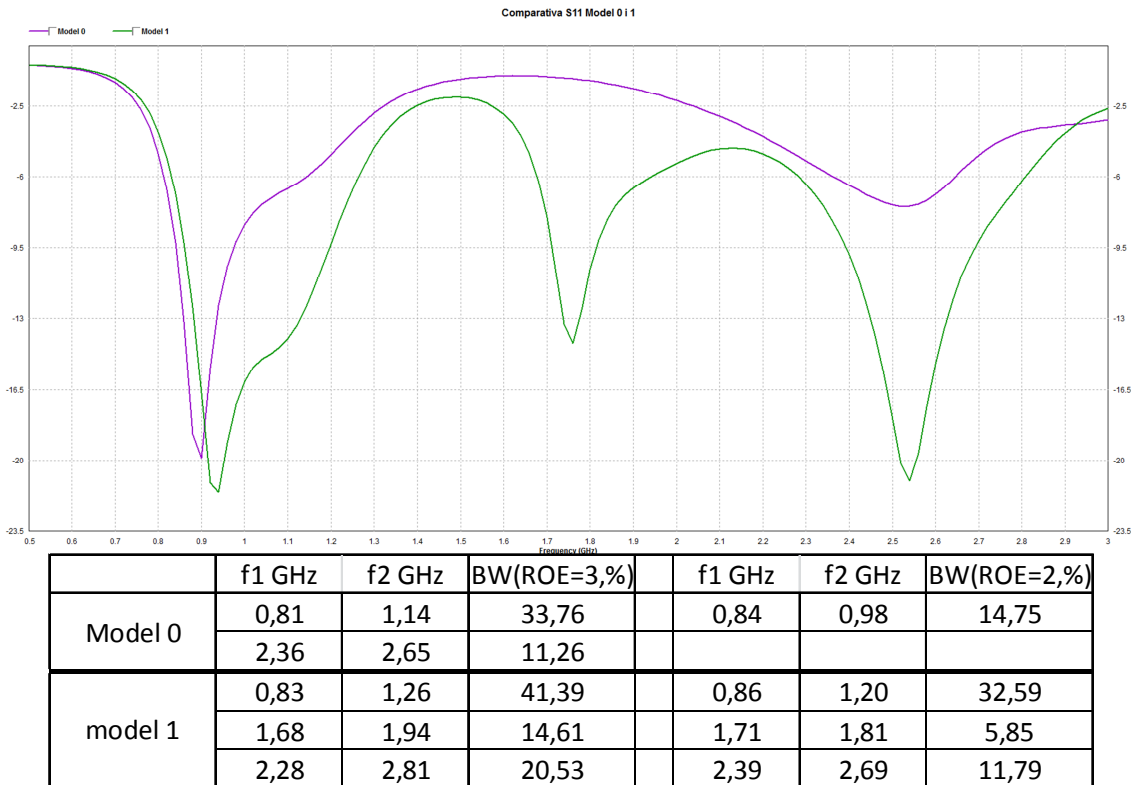
Paràmetre	(mm)	Paràmetre	(mm)	Paràmetre	(mm)
L1	39	L2	10	L3	18
L4	25,5	H1	17	H2	11
W1	1,8	W2	0,5	W3	0,7

Il·lustració 5: Configuració de l'antena monopòl planar proposada [5]. (a) Vista superior, (b) vista inferior



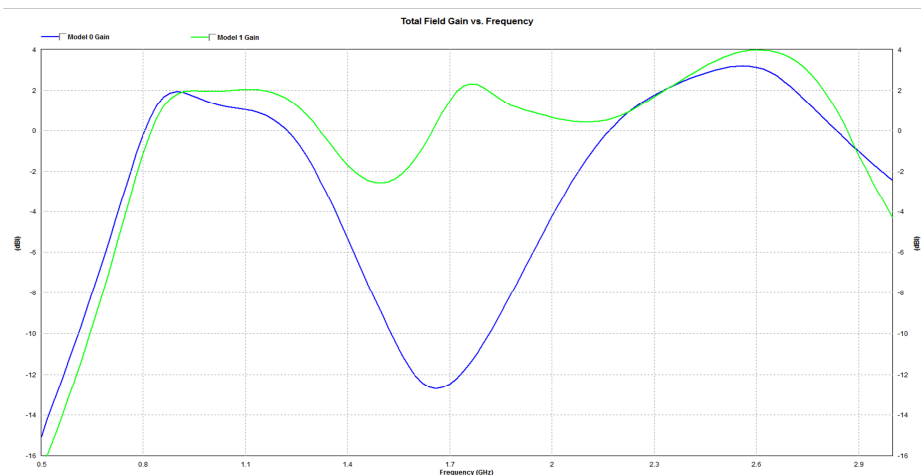
Il·lustració 6 Antena modelada amb ie3d disseny base(esquerra) i amb paràsit (dreta)

Aquesta antena està dissenyada per a dispositius mòbils amb capacitat de poder rebre múltiples bandes o abastar un conjunt ampli de bandes mitjançant l'ús d'un element paràsit, múltiples tires i excitació de modes de ordre superior. El monopol contribueix al mode fonamental i a un de tercer ordre, mentre que l'element paràsit en la part posterior contribueix a un altre mode fonamental. Aquests modes estan caracteritzats per unes pèrdues de retorn molt altes tal com es pot apreciar a la il·lustració 7 on es comparen els dos dissenys.



Il·lustració 7 Comparació de pèrdues de retorn per la antena amb i sense l'element paràsit

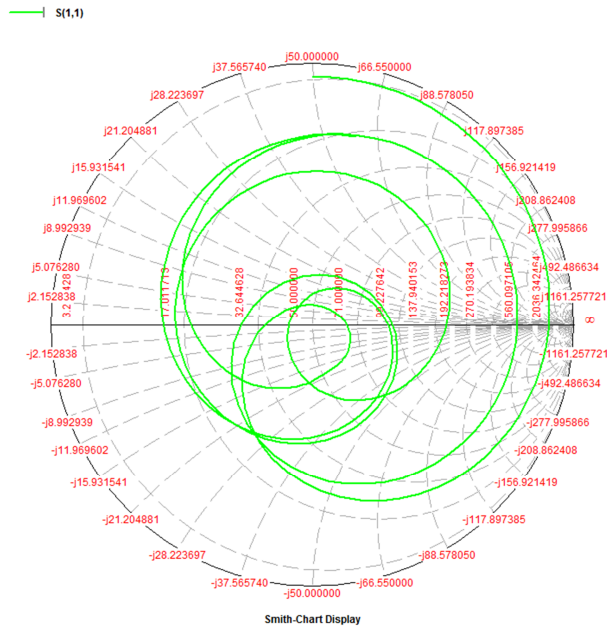
Com s'observa a la il·lustració 7, la introducció del element paràsit apart de crear una nova banda per operar definida per el nivell de pèrdues de retorn o ROE, ha incrementat l'ample de banda de les prèviament existents i permetre que totes les bandes puguin operar amb ROE=2 el que redueix la potència de radiació perduda.



Il·lustració 8 Comparació guany model 0 i 1

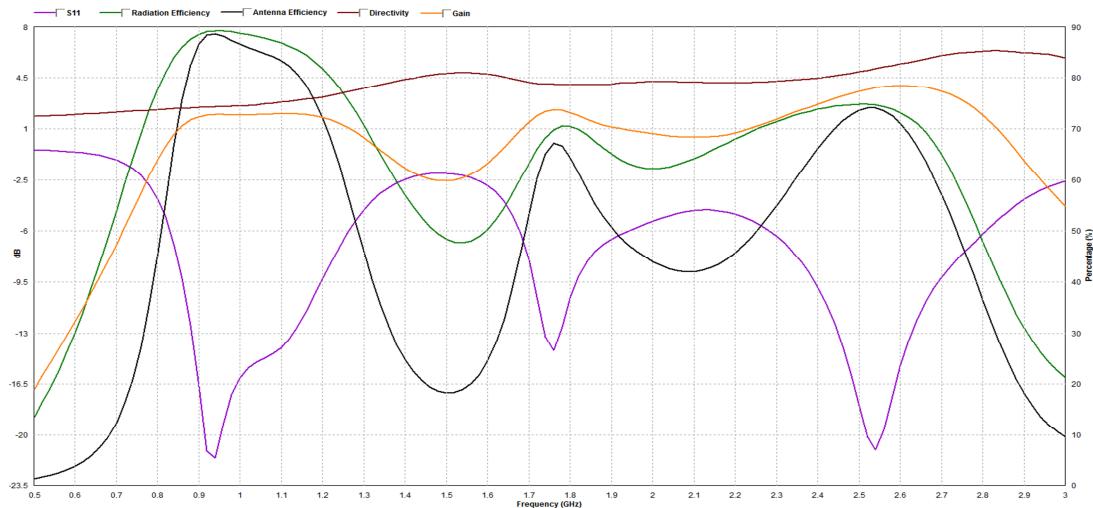
En la il·lustració 8 es pot veure com ha afectat al guany de la antena la introducció del element paràsit. El nou disseny no només ha millorat el guany general de les bandes de freqüència operativa del anterior disseny, sinó que a més dona un nivell de guany equiparable al de la banda inferior a la nova banda.

Una altra gràfica important (Il·lustració 9) on es pot observar el comportament de l'antena és la Carta Smith on es visualitza com varia la càrrega en funció de la freqüència i com més s'aproximi al centre tindrà millor adaptació.



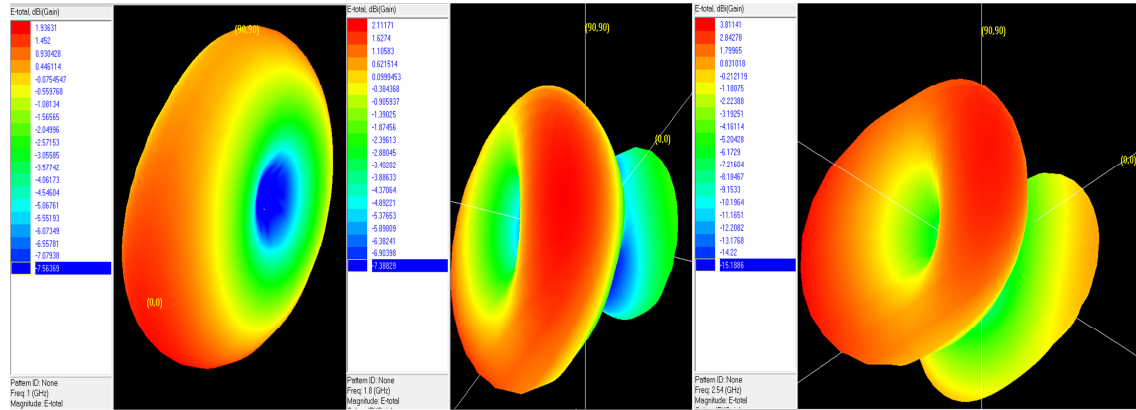
Il·lustració 9 Carta smith model referència

A la il·lustració 10 es fa una presentació de la evolució dels principals paràmetres al variar la freqüència d'aquest disseny. Mitjançant l'apartat de conceptes bàsics és pot veure la relació entre els diferents paràmetres. Per exemple permet observar com la eficiència de antena està definida per les pèrdues de retorn i amb la eficiència de radiació, i el guany per la directivitat i la eficiència d'antena.



Il·lustració 10 Paràmetres model referència

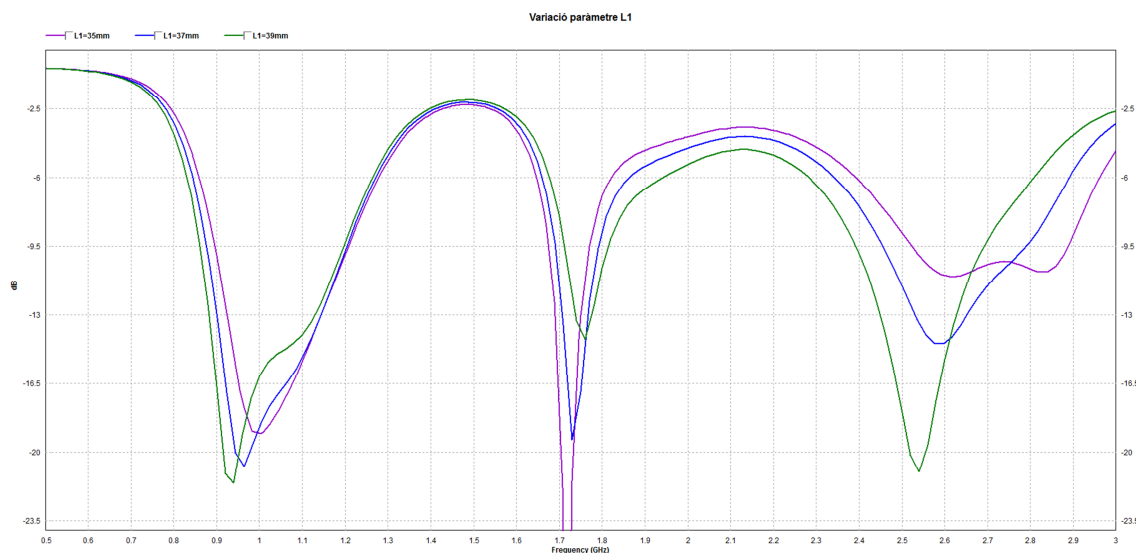
A continuació a la il·lustració 11 s'observarà com radia l'antena a les freqüències de ressonància. A la primera freqüència s'observa una radiació concentrada en el pla YZ amb màxim en l'eix Z. En les dos següents es presenta una simetria de revolució al eix X i que radia lleugerament orientat cap al eix X del pla YZ amb màxim al eix Z.



Il·lustració 11 Gràfiques radiació

### 3.1.1. Escenari 1: Variació paràmetre L1

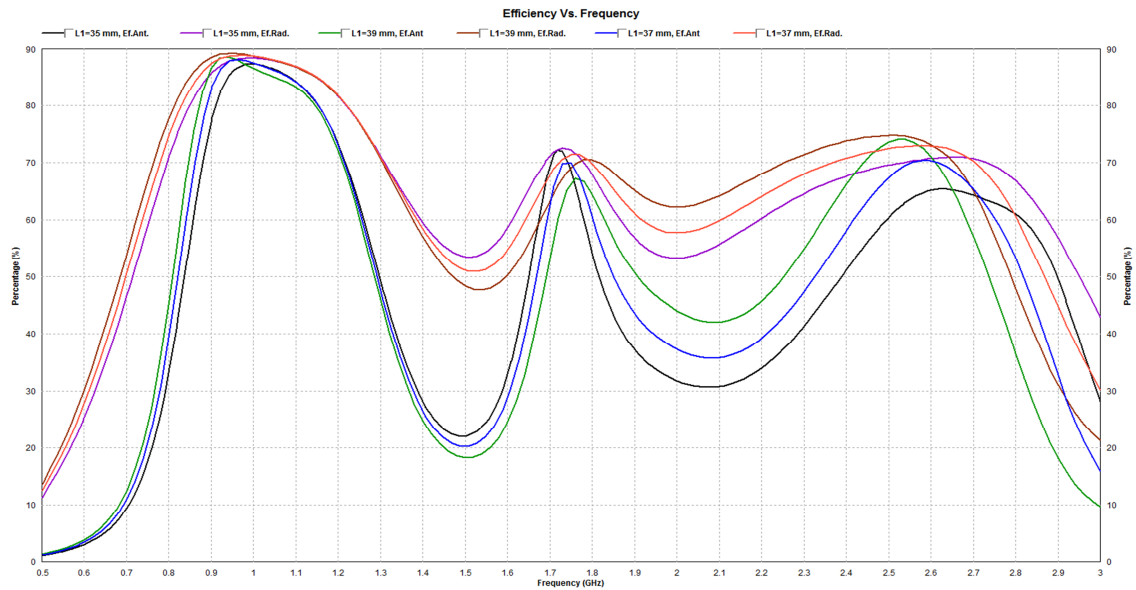
En el primer escenari es procedirà a modificar la longitud de una secció del monopol marcada com L1 en la il·lustració 5. Al tractar-se del principal element radiador, les modificacions que se li apliquin generen canvis en tota la banda d'anàlisi.



	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=3,%)	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=2,%)
L35	0,86	1,28	39,20	0,90	1,21	29,66
	1,65	1,82	10,13	1,67	1,77	5,58
	2,39	2,96	21,26	2,52	2,89	13,48
L37	0,84	1,27	40,40	0,88	1,20	31,45
	1,66	1,86	11,67	1,69	1,79	5,80
	2,34	2,89	20,96	2,46	2,79	12,72
model 1	0,83	1,26	41,39	0,86	1,20	32,59
	1,68	1,94	14,61	1,71	1,81	5,85
	2,28	2,81	20,53	2,39	2,69	11,79

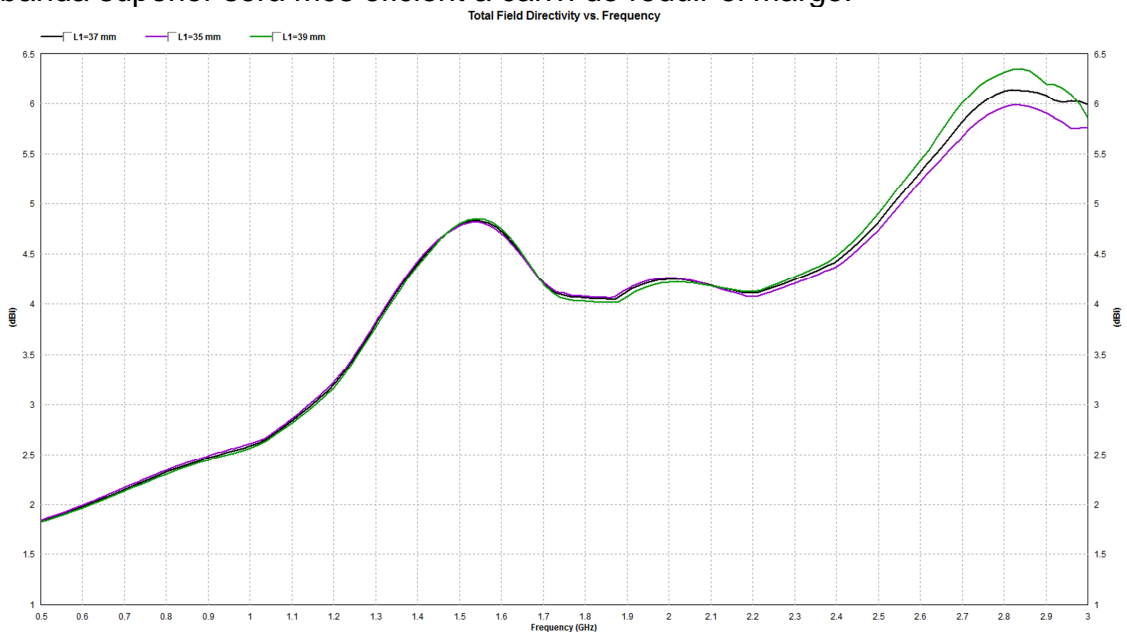
Il·lustració 12 Pèrdues de retorn simulades en funció de L1

En la il·lustració 12 es pot observar que al modificar L1 la freqüència de ressonància varia juntament amb la seva adaptació. Amb la fórmula de la longitud d'ona ( $\lambda=c/f$ ) si augmentem la longitud de l'element radiador la seva freqüència disminueix i es menys camp que capta l'element paràsit per l'acoblament. També s'observa que com menor es la longitud millor és l'adaptació en els extrems, no obstant es redueix l'ample de banda per les freqüències baixes i centrals però augmenta per les altes lleugerament.



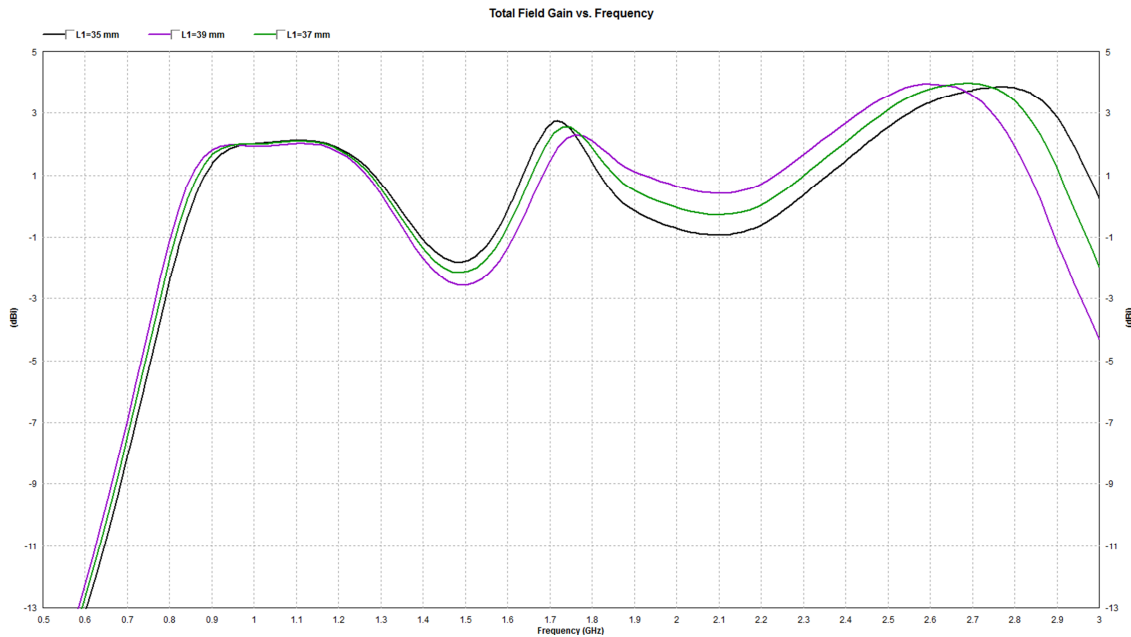
**Il·lustració 13 Comparació eficiència de radiació i antena segons longitud L1**

Tot seguit en la il·lustració 13 s'analitza el comportament que té la eficiència de radiació i d'antena al variar la longitud de L1. Com menor sigui la longitud de L1 major eficiència disposarà la banda central i mantindrà el valor de eficiència per un ample major en la banda superior. En canvi com major sigui la longitud el ample de banda central serà menys eficient, però en la banda superior serà més eficient a canvi de reduir el marge.



**Il·lustració 14 Comparació directivitat segons L1**

Una altre dels paràmetres que es revisaran és com afecta aquest canvi a la directivitat. Com es pot observar a la il·lustració 14, l'única diferència significativa és a la freqüència 2.8 GHz on l'antena és més directiva com major sigui L1.



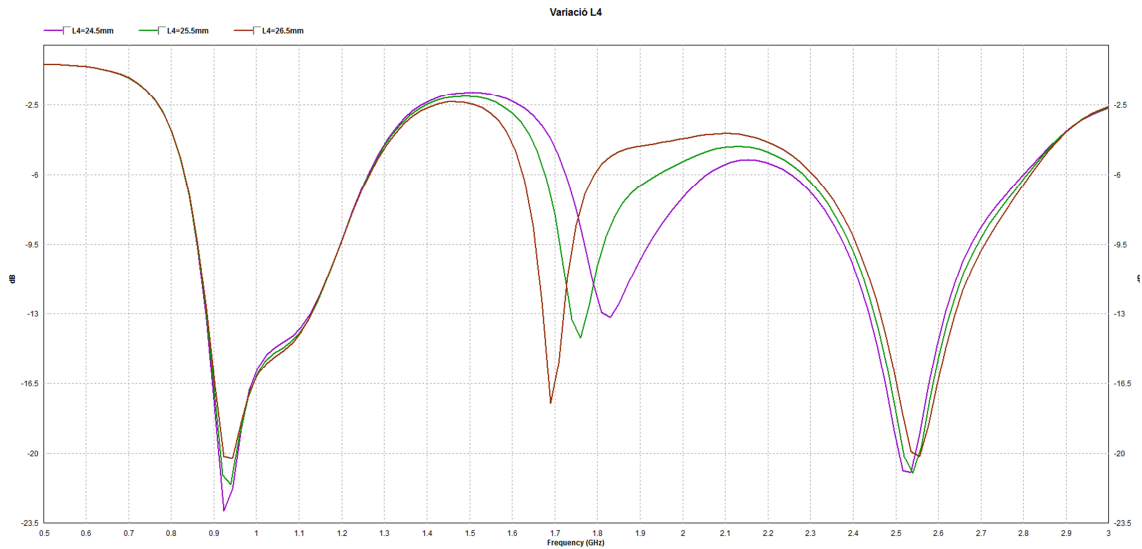
**Il·lustració 15 Variació del guany segons L1**

Finalment és podrà visualitzar en la il·lustració 15 com ha afectat en el guany aquesta modificació. Com s'ha mostrat als conceptes bàsics el guany està definit sobretot per la directivitat, eficiència de radiació i pèrdues de retorn. Per tant és podrà observar el comportament general de la antena on la banda central és la més notable al ser el guany invers a la longitud. Altrament s'observa el desplaçament de el nivell del guany al variar la longitud d'ona del dipol.

### 3.1.2. Escenari 2: Variació paràmetre L4

En aquest escenari es realitzaran modificacions al paràmetre L4 de l'element paràsit indicat en la il·lustració 5b.

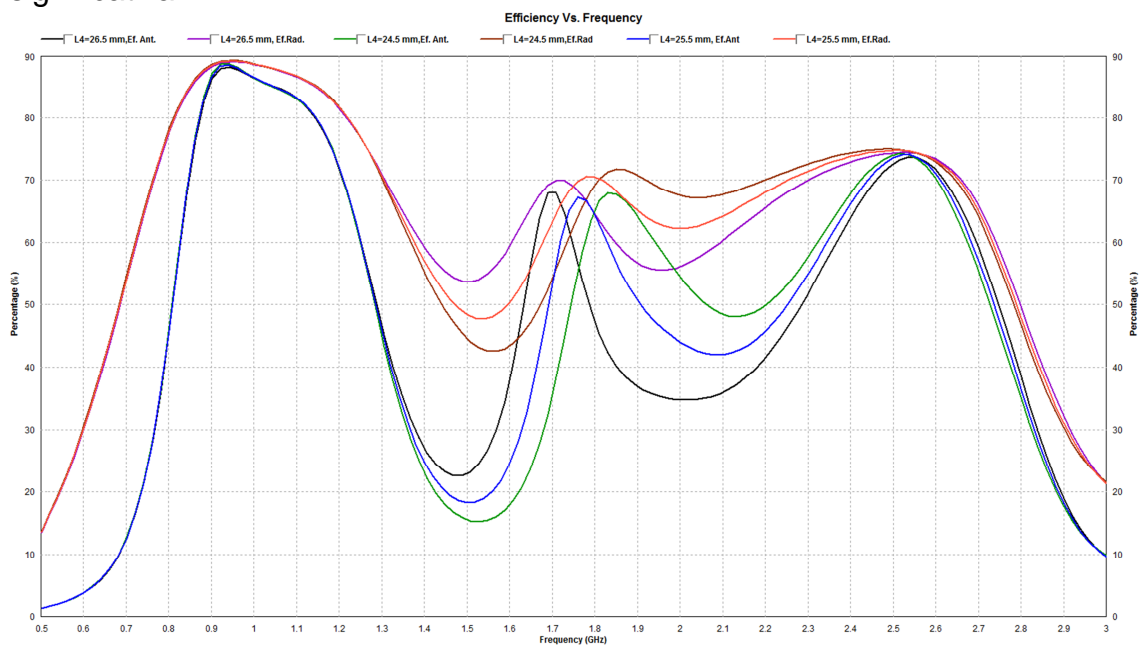




	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=3,%)	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=2,%)
L4 245	0,83	1,16	33,27	0,86	1,20	32,55
	1,73	2,06	17,47	1,77	1,92	8,19
	2,26	2,80	21,54	2,38	2,68	11,81
model 1	0,83	1,26	41,39	0,86	1,20	32,59
	1,68	1,94	14,61	1,71	1,81	5,85
	2,28	2,81	20,53	2,39	2,69	11,79
L4 265	0,83	1,27	41,47	0,86	1,20	32,44
	1,63	1,79	9,77	1,65	1,74	5,22
	2,31	2,82	19,88	2,41	2,71	11,75

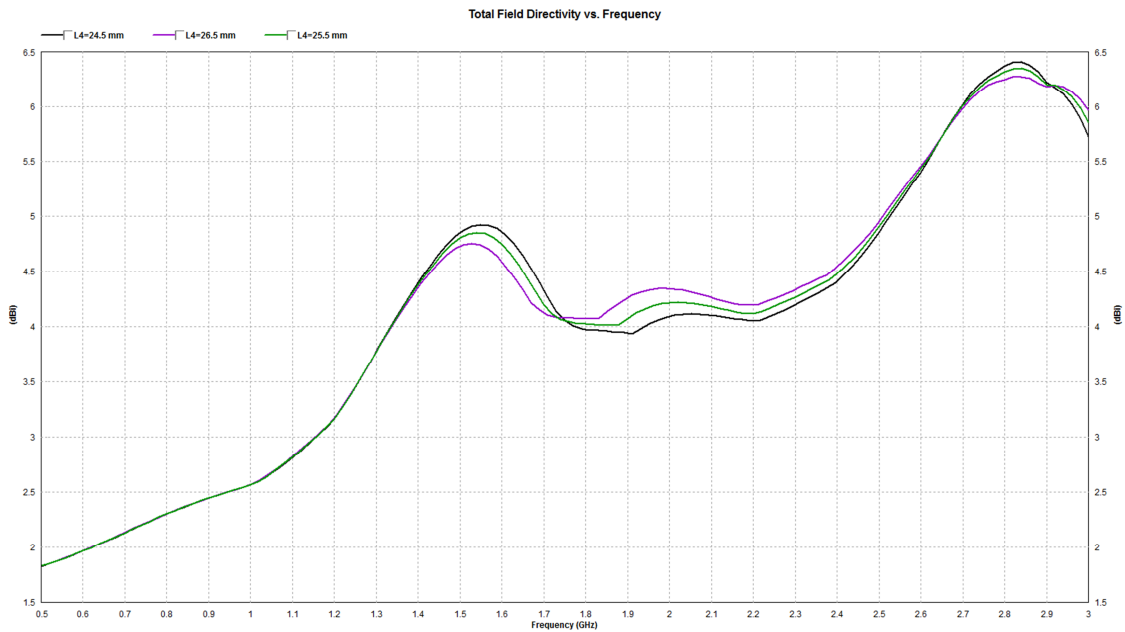
II-lustració 16 Pèrdues de retorn simulades en funció de L4

Com s'ha comentat en el cas anterior la longitud determina la freqüència de ressonància i la quantitat de camp que rep per l'acoblament. Major longitud resulta en un millor acoblament i reducció del ample de banda en la freqüència del disseny del paràsit. En canvi a les altres bandes no hi ha una variació significativa.



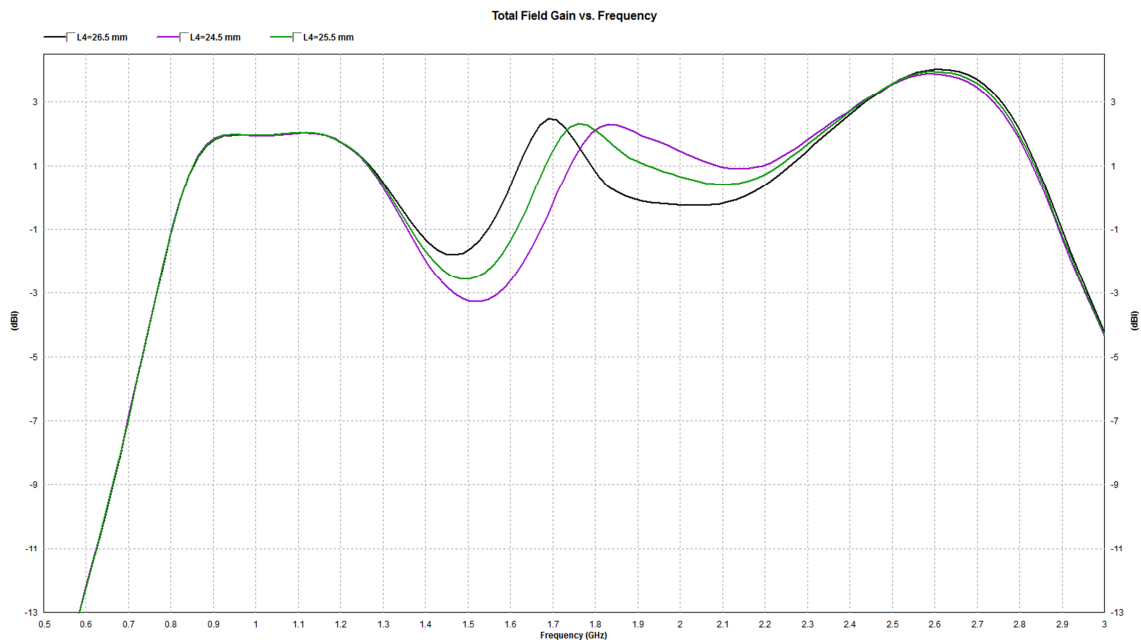
II-lustració 17 Comparativa eficiències segons L4

En la il·lustració 17 es compara les eficiències en relació al paràmetre L4. El cas de la eficiència de radiació s'observa un lleuger increment al reduir el paràmetre L4 en la banda central. Aquest increment queda compensat a la eficiència de antena per les pèrdues de retorn.



II-Il·lustració 18 Comparació de la directivitat segons L4

En canvi la variació de L4 no presenta canvis significatius en les bandes de treball a excepció dels extrems de la banda central.

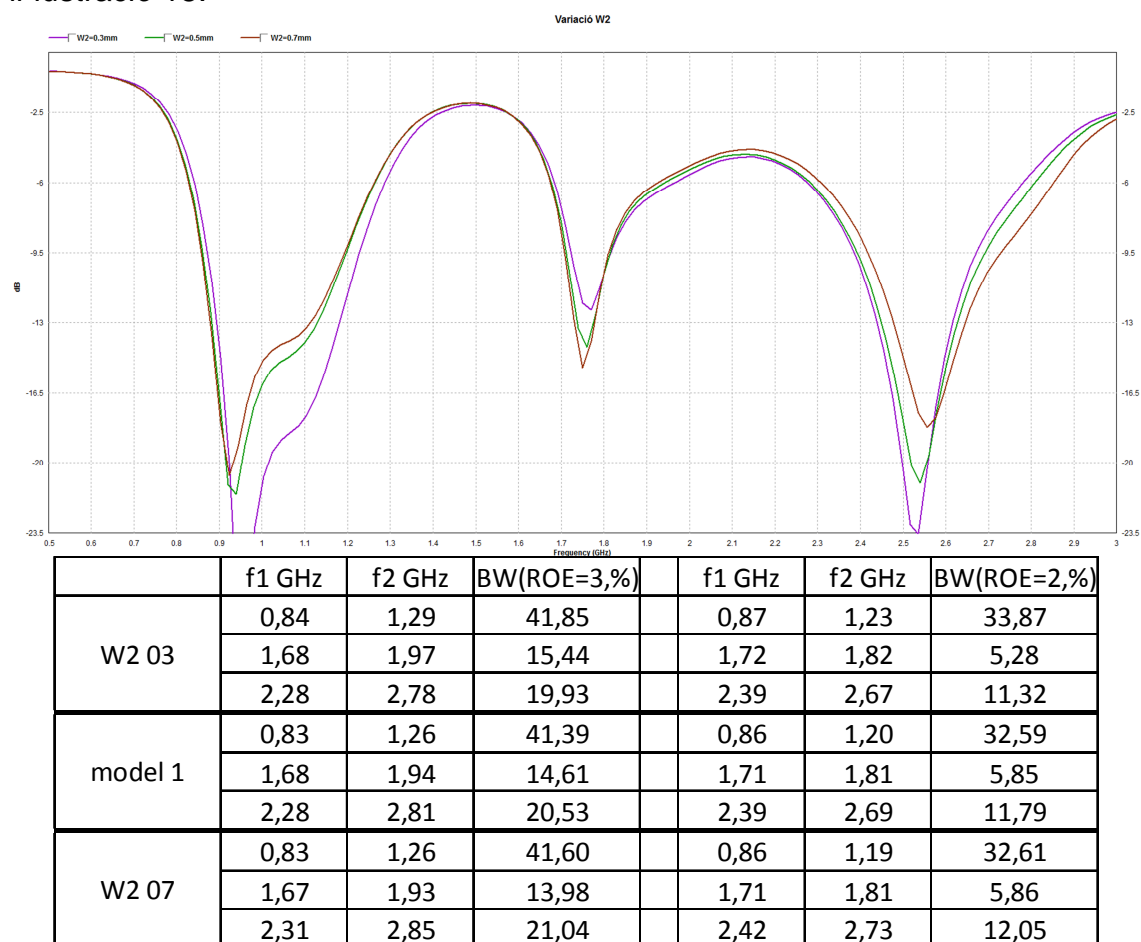


II-Il·lustració 19 Comparació guany segon L4

En aquest cas el nivell de guany no presenta canvis significatius a les freqüències de ressonància a excepció dels marges de la banda central on major sigui la freqüència de ressonància pitjor serà el guany abans i millor després.

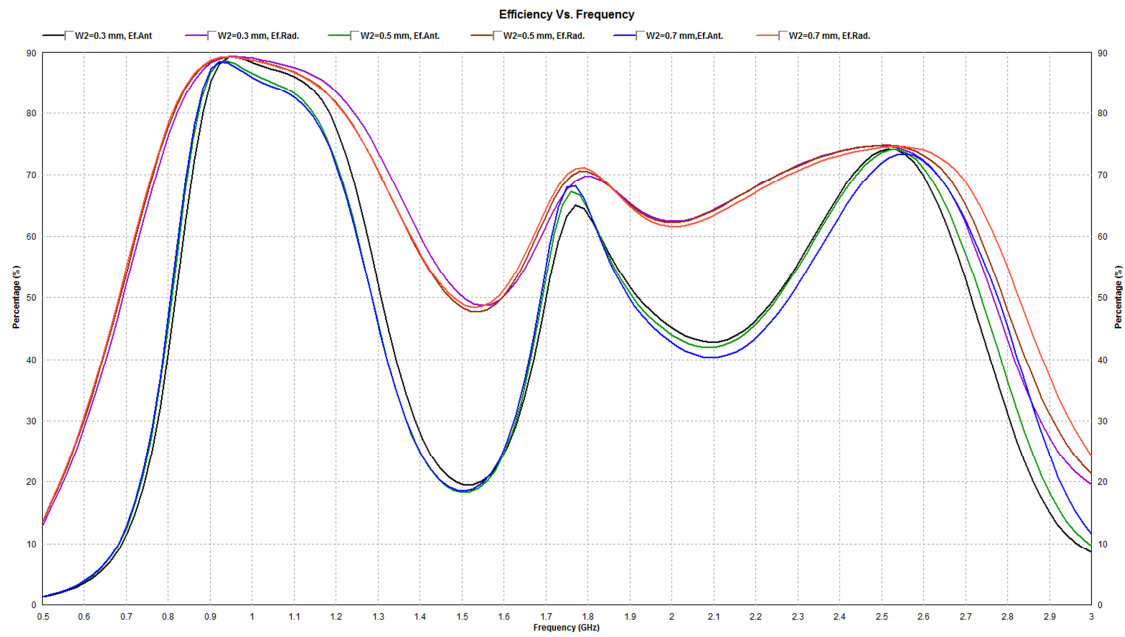
### 3.1.3. Escenari 3: Variació paràmetre W2

En aquest escenari es variarà el gruix de la part final del element radiador. Seguidament és revisaran els resultats de les pèrdues de retorn en la il·lustració 18.



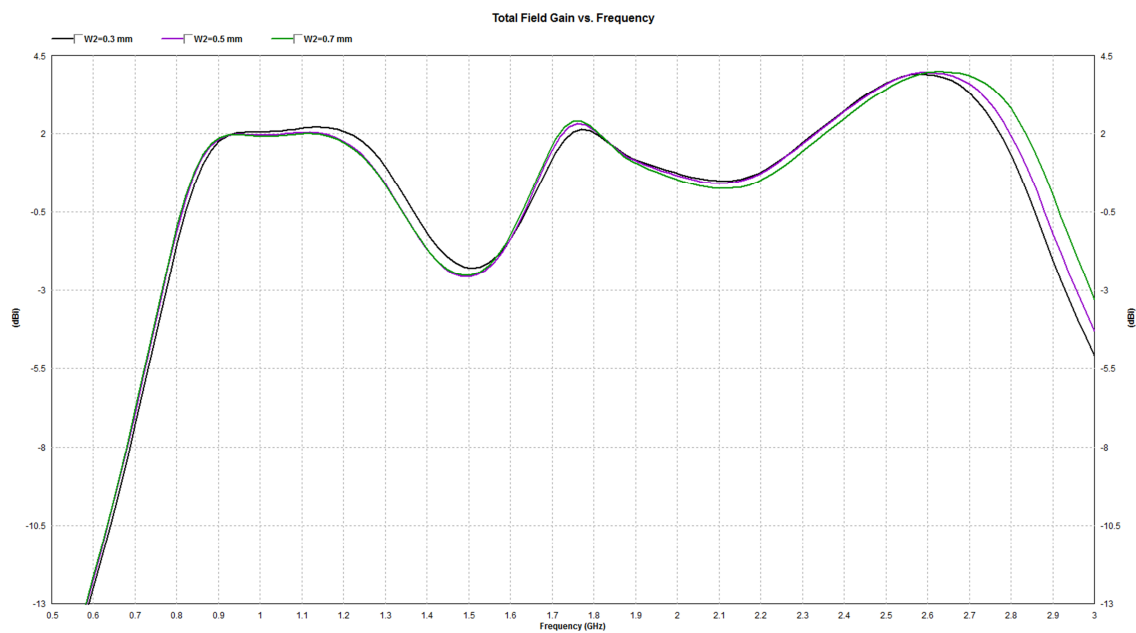
Il·lustració 20 Pèrdues de retorn simulades en funció de W2

Aquesta simulació no presenta canvis important en els amplituds de banda a excepció de la superior al tractar-se del resultat de un mode de tercer ordre. No obstant es pot apreciar la relació entre l'amplada i la adaptació dels modes del element radiador, que al reduir el gruix es produeix una millor adaptació. En canvi al augmentar el gruix és produeix una millor adaptació de la banda central deguda a la reducció de la distància entre el dipol i el paràsit.



**Il·lustració 21 Comparació eficiències segons W2**

Com s'observa a la il·lustració 21 la eficiència de radiació presenta poc nivell de variació, mentre que la eficiència de antena són lleugerament més notables al ser causats per les pèrdues de reton.

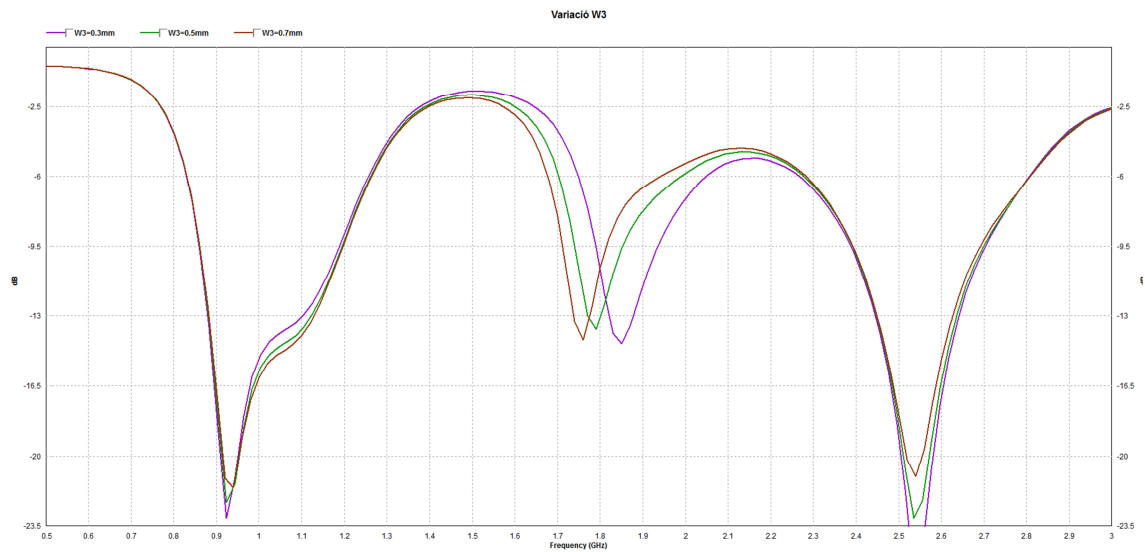


**Il·lustració 22 Comparació guany segons W2**

Tant la eficiència com el guany no presenten canvis significatius en la forma de les línies al variar el paràmetre W2 a part de una lleugera variació en els amplex de banda dels extrems tal com es pot veure en les il·lustracions 21 i 22.

### 3.1.4. Escenari 4: Variació paràmetre W3

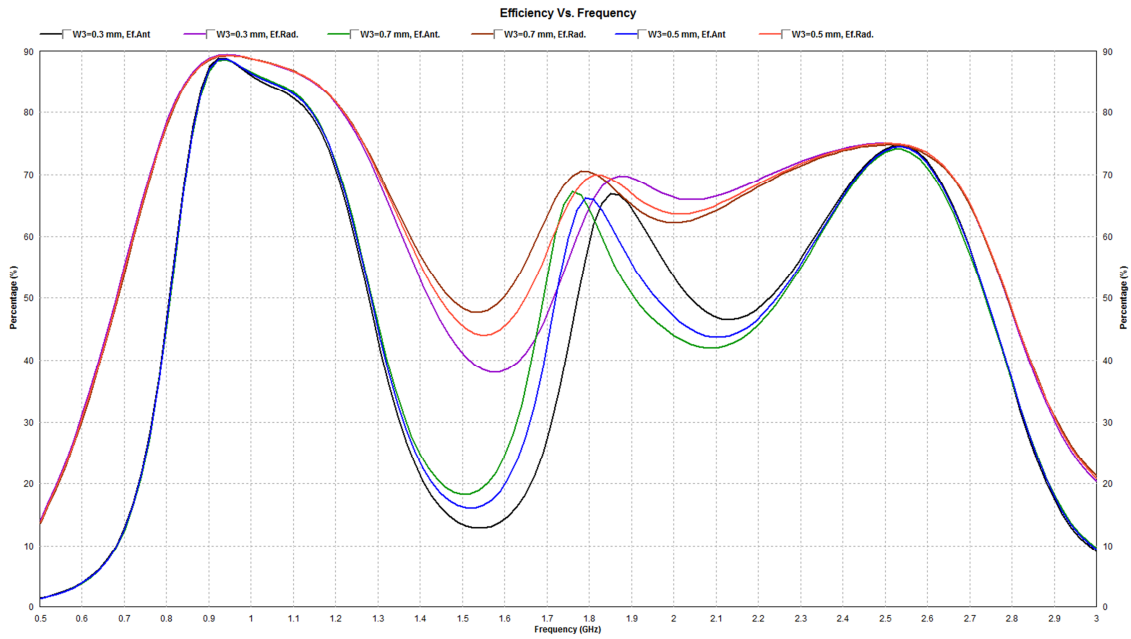
Seguidament es variarà el gruix del element paràsit.



	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=3,%)	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=2,%)
W3 03	0,83	1,26	41,00	0,86	1,18	31,81
	1,75	2,05	15,79	1,79	1,94	7,88
	2,27	2,81	21,27	2,39	2,70	12,44
W3 05	0,83	1,26	41,25	0,86	1,19	32,48
	1,70	1,99	15,51	1,74	1,85	6,29
	2,28	2,81	20,83	2,39	2,70	12,14
model 1	0,83	1,26	41,39	0,86	1,20	32,59
	1,68	1,94	14,61	1,71	1,81	5,85
	2,28	2,81	20,53	2,39	2,69	11,79

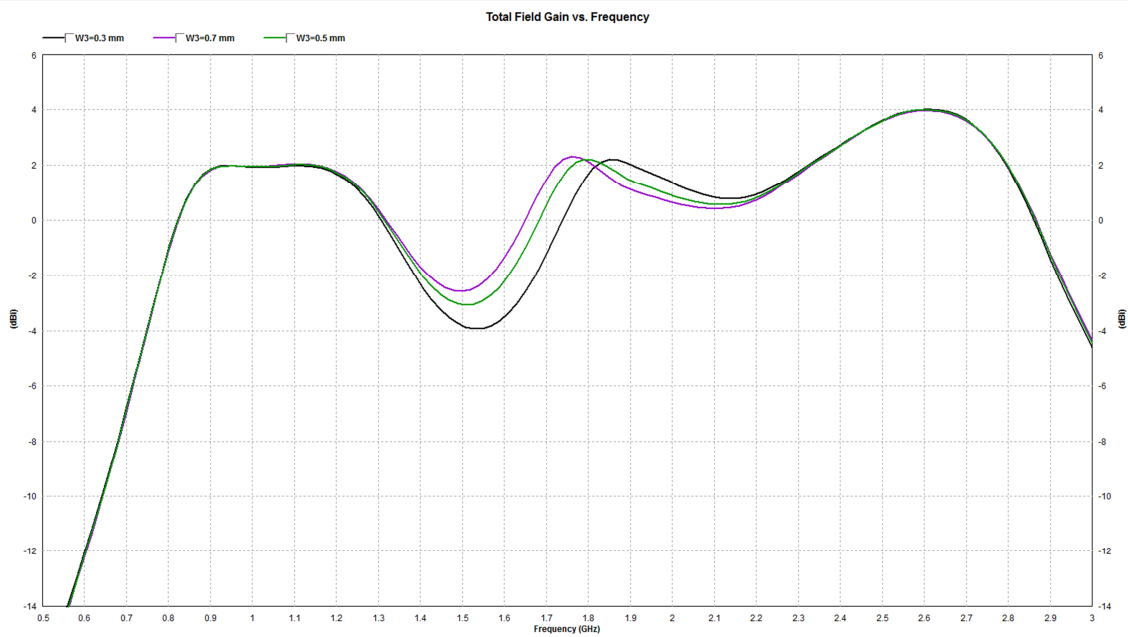
Il·lustració 23 Pèrdues de retorn simulades en funció de W3

Aquesta simulació no presenta canvis significatius en les bandes dels extrems a causa del element modificat a excepció de una lleugera millora de la adaptació. La única variació significativa de aquesta simulació és la modificació de la freqüència de ressonància que augmenta al disminuir el gruix de la banda central.



**Il·lustració 24 Comparació eficiències segons W3**

En aquesta il·lustració no es presenten canvis importants tant en la eficiència de radiació com a la de antena, només s'aprecia el desplaçament del nivell degut a la variació de la freqüència de ressonància.



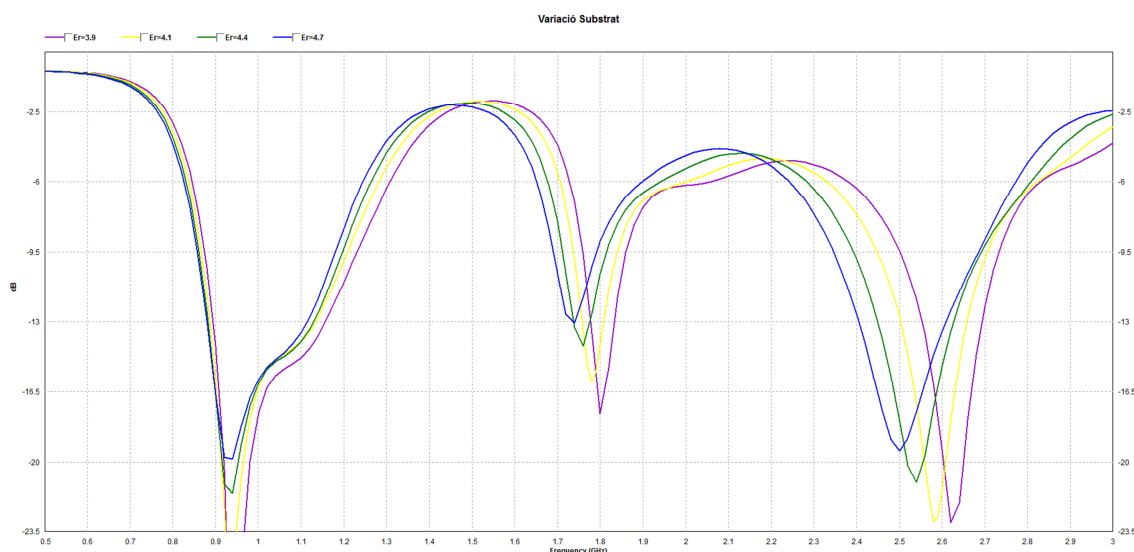
**Il·lustració 25 Comparació guany segons W3**

Com passa en la il·lustració 24 el nivell no presenta canvis de interès en el nivell del guany presentat en l'antena.

## 3.2. Modificació de les característiques físiques.

Un cop comprovats els resultats de les simulacions anteriors amb l'article de referència es procedirà a simular la antena amb altres paràmetres per investigar com afecten al resultat final. Aquestes simulacions continuaran elaborant-se amb el programa IE3D i es basaran en les dimensions de la superfície juntament amb la composició dels material. No obstant també s'analitzarà algun cas específic que aporti avantatges favorables.

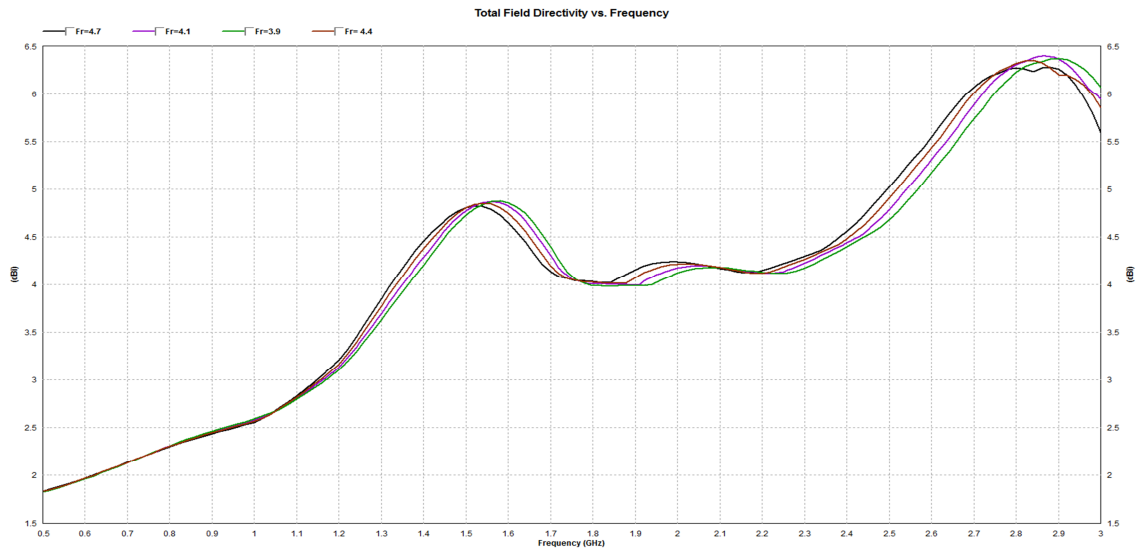
### 3.2.1. Escenari 6: Variació elements substrat



	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=3,%)		f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=2,%)
Er=3,9	0,84	1,31	43,06		0,87	1,23	33,88
	1,73	2,06	17,50		1,76	1,86	5,59
	2,38	2,83	17,26		2,50	2,73	8,87
Er=4,1	0,84	1,28	41,98		0,87	1,21	32,94
	1,71	2,00	16,02		1,74	1,84	5,73
	2,33	2,82	19,19		2,45	2,71	10,00
model 1	0,83	1,26	41,39		0,86	1,20	32,59
	1,68	1,94	14,61		1,71	1,81	5,85
	2,28	2,81	20,53		2,39	2,69	11,79
Er=4,7	0,83	1,25	40,52		0,86	1,18	31,67
	1,65	1,90	13,95		1,69	1,79	5,84
	2,24	2,77	21,12		2,35	2,69	13,49

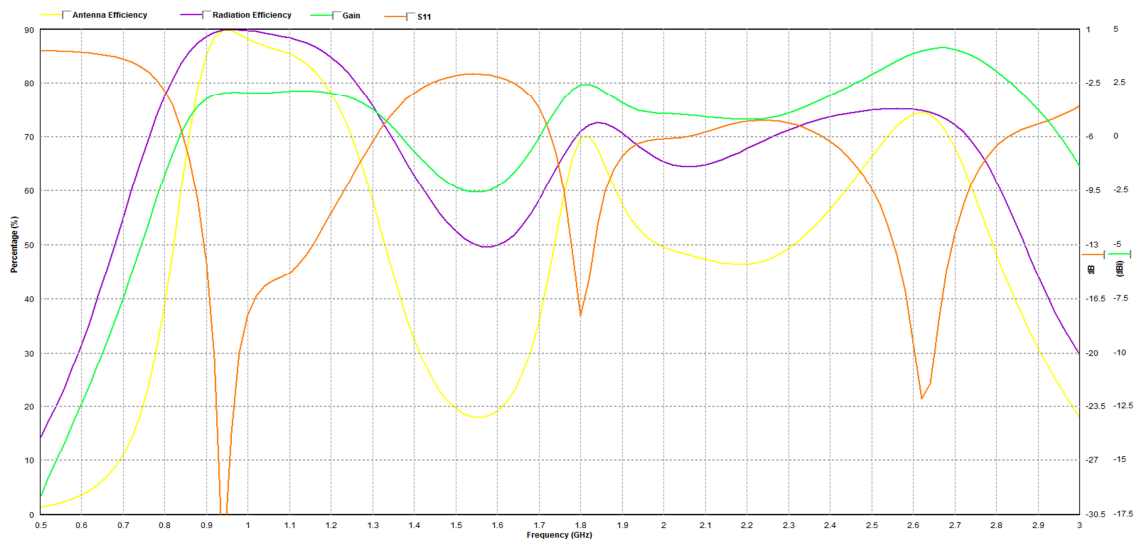
II-lustració 26 Pèrdues de retorn per modificació del substrat

Amb aquestes dades s'observa que com menor es la permittivitat la freqüència de ressonància creix a un ritme proporcional a la freqüència, no obstant la banda freqüencial baixa el ample de banda creix a un ritme lent mentre que la banda central pateix un creixement lleugerament major i la banda superior l'amplada decreix.

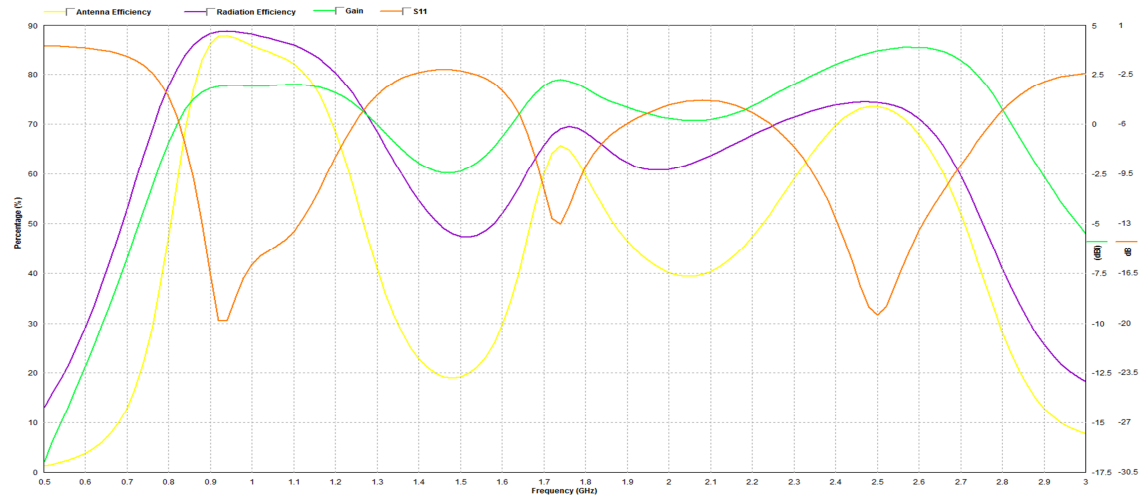


**Il·lustració 27 Variació de la directivitat segons Fr**

Amb la il·lustració 27 s'observa com afecta la permitivitat en la directivitat de l'antena. Aquesta variació de la permitivitat produeix variacions de dècimes de decibel i permet fer dissenys que generin més guany.



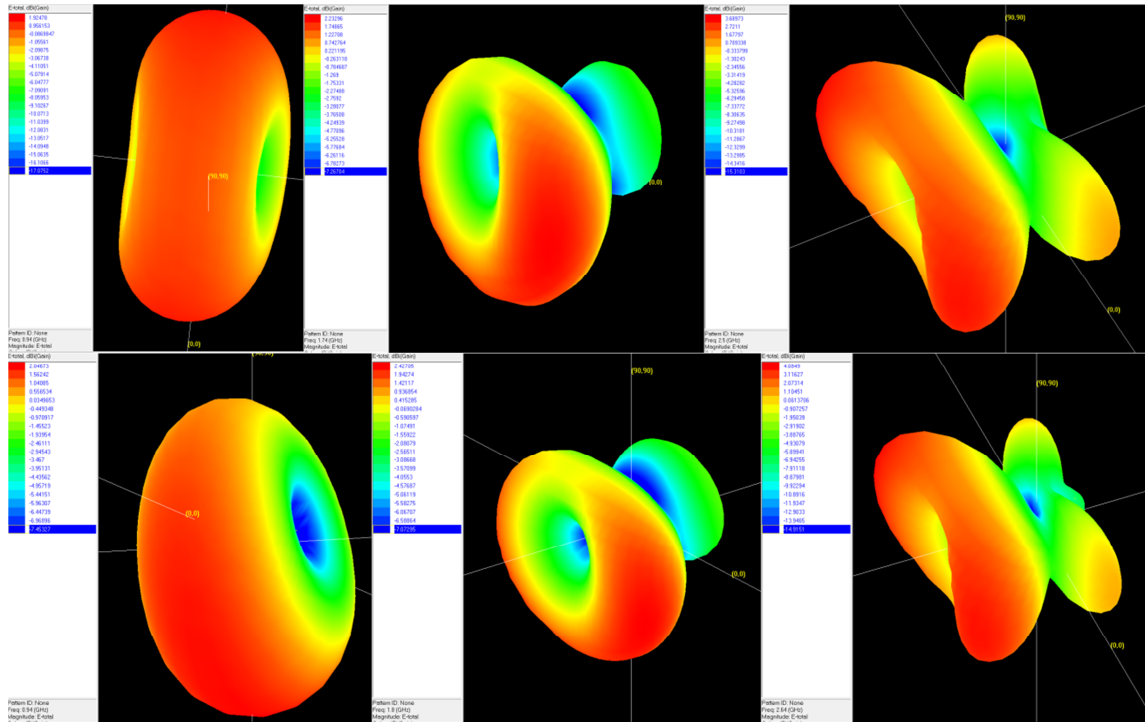
**Il·lustració 28 Dades simulació Er=3.9**



**Il·lustració 29 Dades Simulació Er=4.7**

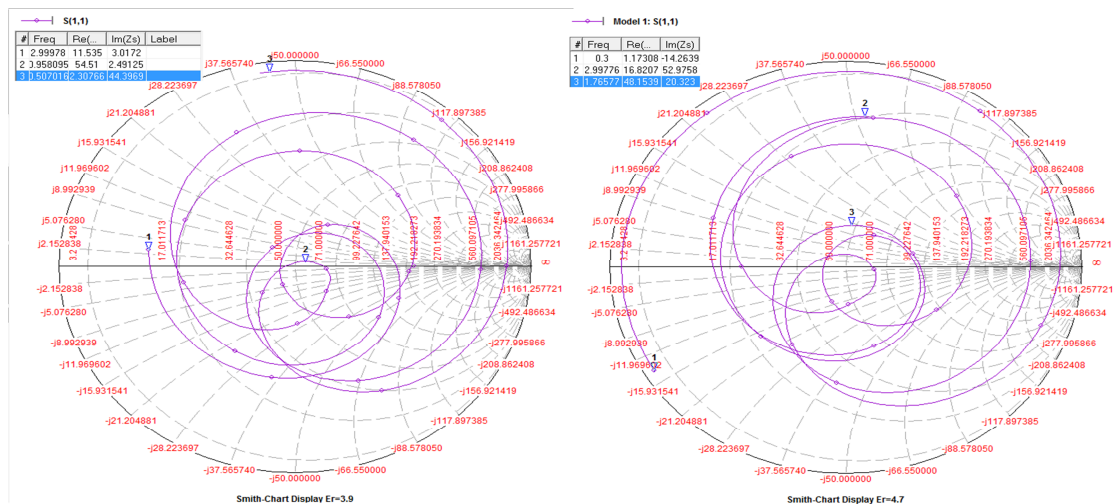


Al comparar les dues gràfiques anteriors s'observa que el màxim del guany de la banda superior es desplaça de igual manera que la freqüència de ressonància al variar les característiques del substrat. Aquestes dues gràfiques permeten observar com s'afecten els diferents paràmetres en aquest dos casos. El cas més interessant és la eficiència de antena, com s'observa com millor adaptat estiguin les pèrdues de retorn millor serà la eficiència



II-il·lustració 30 Diagrama de radiació per les freqüències de ressonància en FR4.7 (dalt) i FR3.9 (sota)

Al observar els diagrames de radiació no sembla que la variació de la permitivitat influeixi en gran mesura a com radia en l'espai.

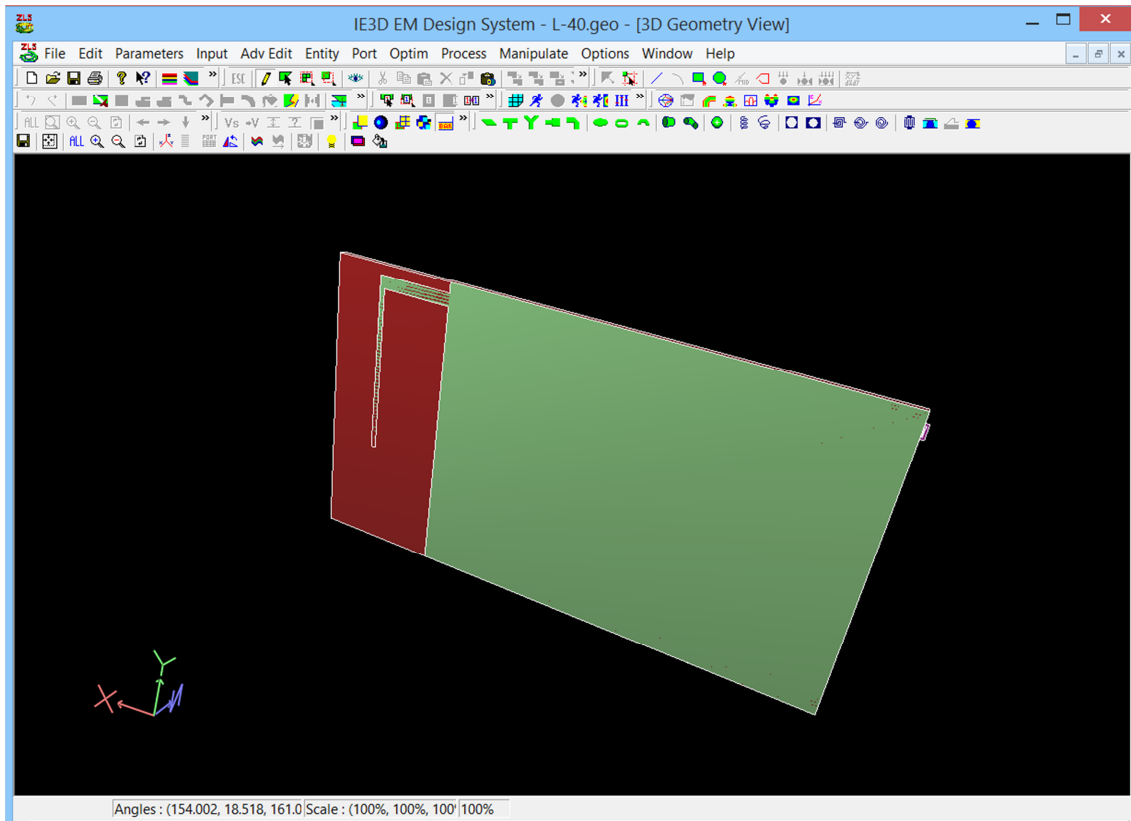


II-il·lustració 31 Gràfiques Smith per Er=3.9 i Er=4.7

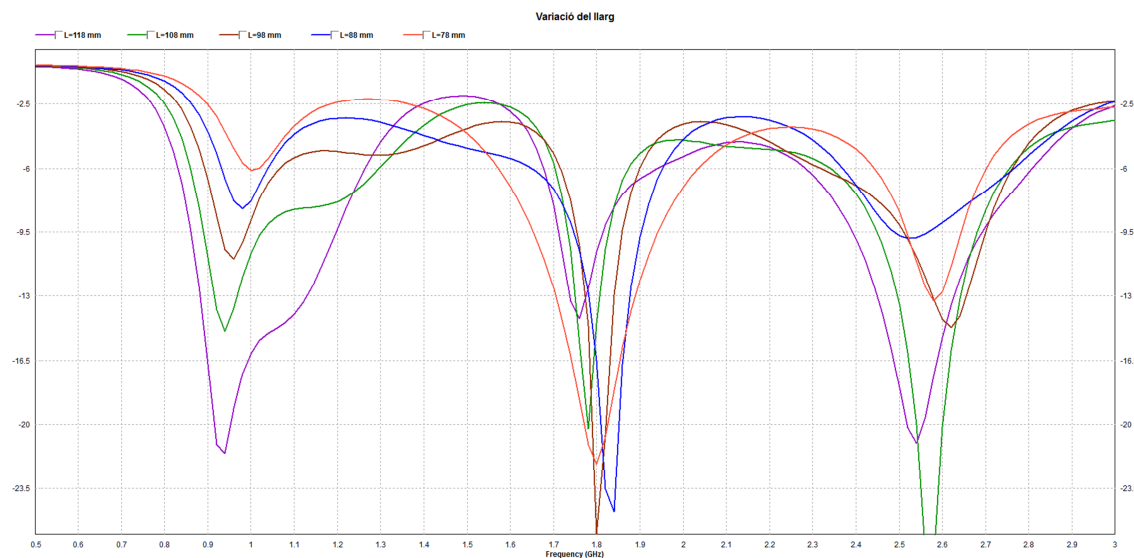
Aquest canvi ha provocat que la impedància de la antena presenti un desplaçament de les línies en sentit horari i tinguin major impedància per freqüències altes.

### 3.2.2. Escenari 7: Modificació "Lenght"

En aquest escenari s'observaran els canvis que es produeixen al reduir la longitud del "groundplane".



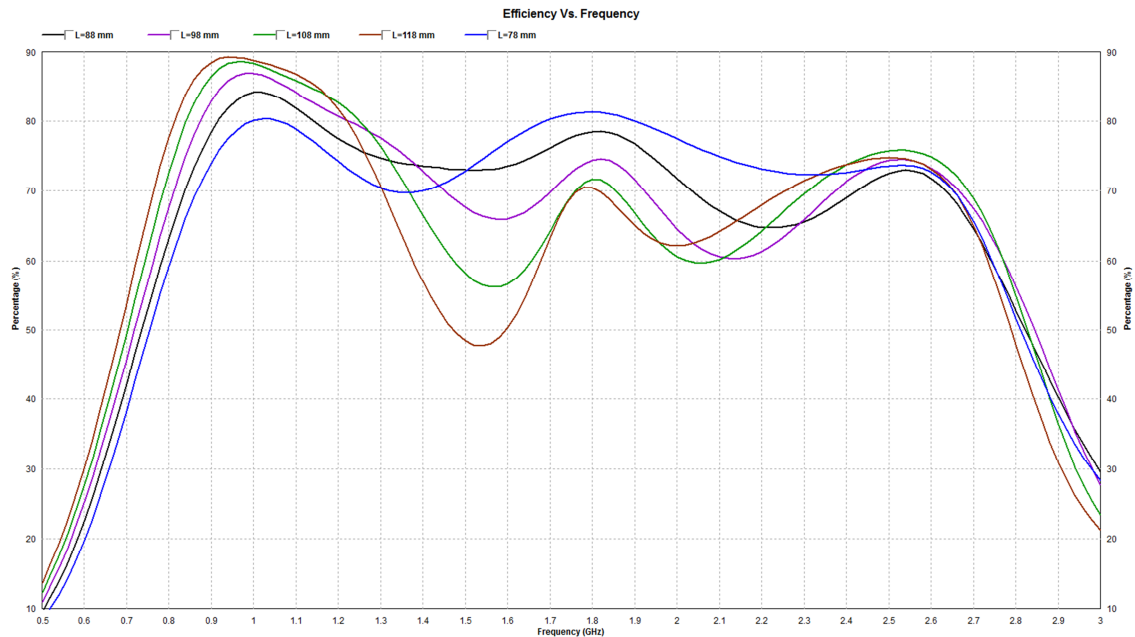
II-lustració 32 Model 3D L=78mm



II-lustració 33 Paràmetres S11 segons llarg

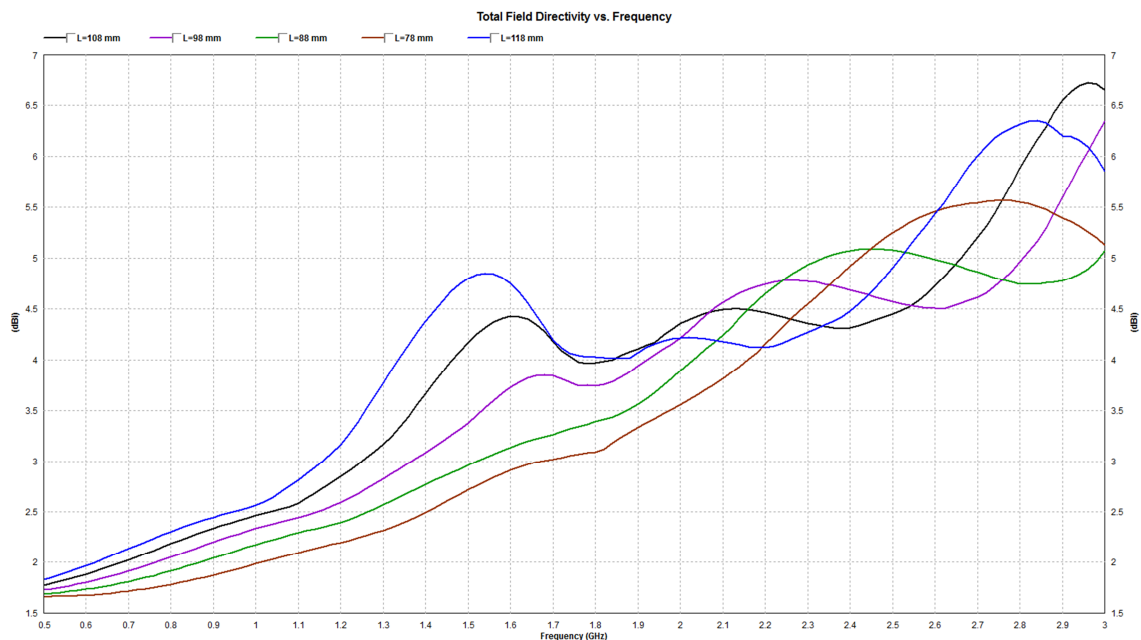
Els resultats de la simulació mostren la variació produïda per aquests canvis. En la banda inferior es pot veure la relació entre menor longitud, major adaptació i menor ample de banda. En canvi en la banda central es produeix una millora de la adaptació i reducció del ample de banda a mida de 98mm i després es reverteix la dinàmica. En la banda superior, l'ample de banda es va

reduint a mesura que disminueix la longitud però la millor adaptació es troba quan medeix 108mm.



II-lustració 34 Comparació eficiència de radiació segons L

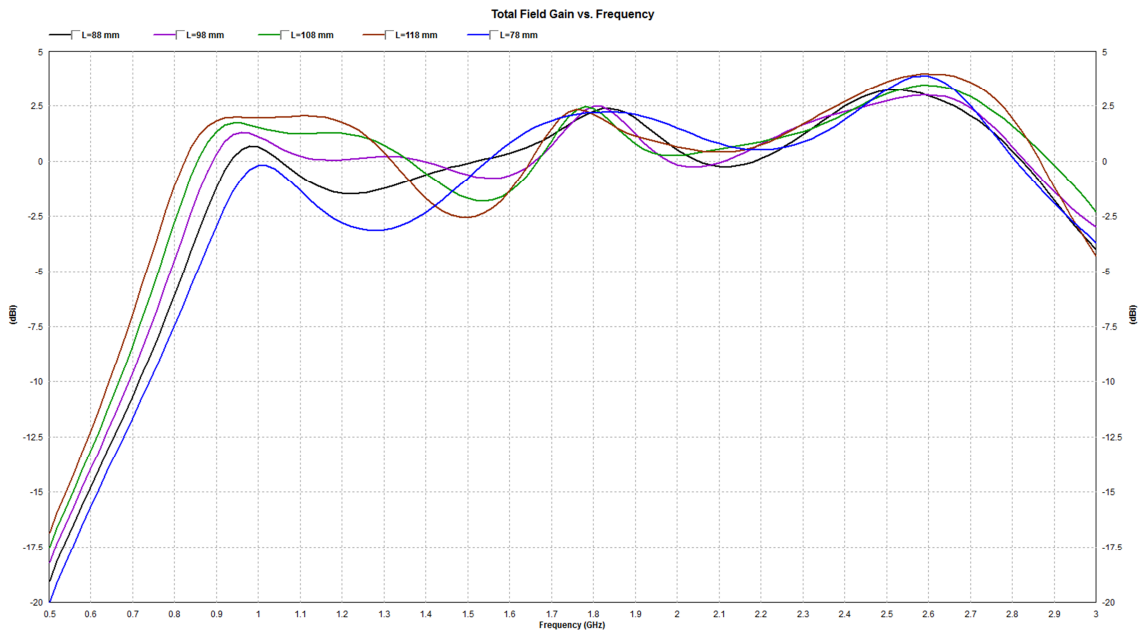
Com major sigui la longitud del pla de terra a la banda baixa major serà la eficiència de radiació de l'antena i també per un marge més gran, en canvi per la banda central com menor sigui la longitud millor serà la eficiència i també per un marge lleugerament més gran.



II-lustració 35 Variació directivitat segons Length

En la il·lustració 35 es presenta la variació de la directivitat segons la longitud del pla de terra. Es pot observar que la longitud del pla de terra té una influència significativa en la directivitat de l'antena. S'aprecia com la gràfica presenta tres pics en L=118 mm on el del mig no es gaire visible. Al disminuir la longitud el primer pic es desplaça cap a freqüències més altes però disminueix

el nivell, mentre que el central es desplaça de la mateixa manera però el pic augmenta el nivell, i finalment el tercer pic repeteix el desplaçament dels dos anteriors, però al disminuir la longitud augmenta la directivitat.

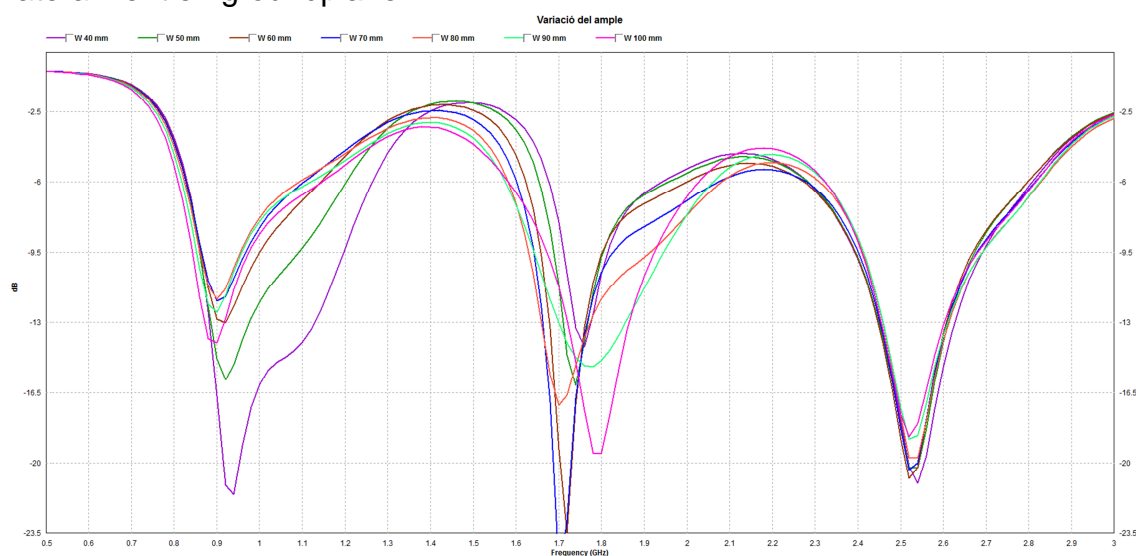


**II-Il·lustració 36 Comparació del guany segons L**

Es pot observar que com major es el llarg del “groundplane” major guany té i per un major ample de banda als extrems, mentre que el cas de menor llargada presenta un ample de guany major a canvi de una lleugera reducció menyspreable del guany. Aquesta forma és resultat del producte entre la eficiència de antena i la directivitat.

### 3.2.3. Escenari 8: Modificació "Wide"

En aquest escenari també s'observaran com afecta a l'antena ampliar lateralment el "groundplane".

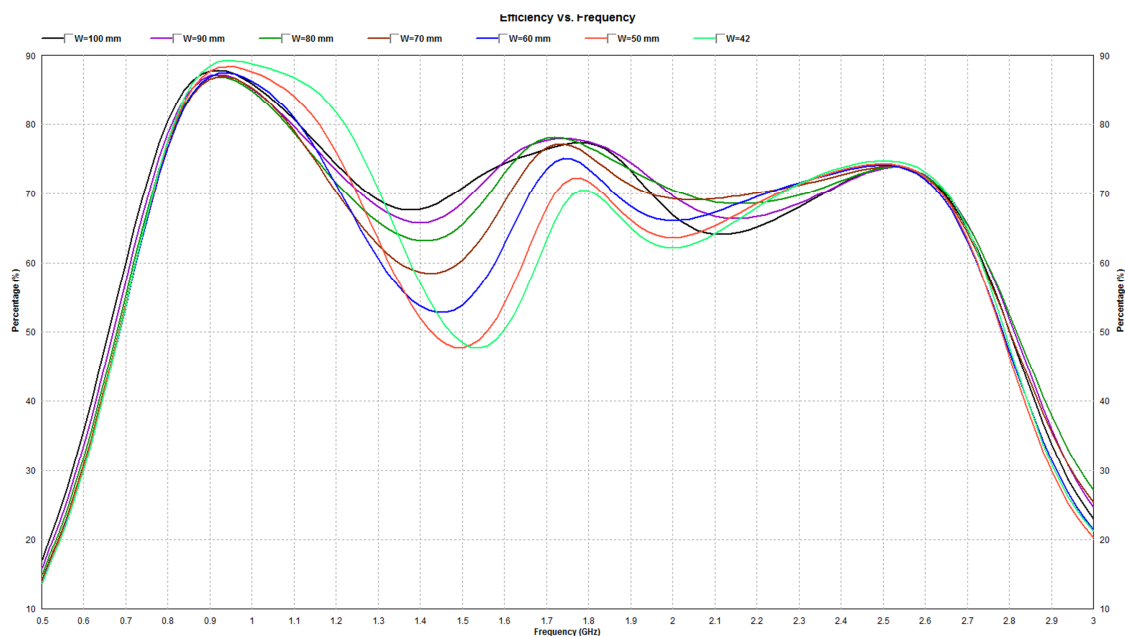


	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=3,%)	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=2,%)
W 50	0,83	1,20	36,95	0,86	1,09	23,71
	1,65	1,96	16,80	1,69	1,80	6,66
	2,28	2,80	20,26	2,39	2,67	11,00
W60	0,83	1,14	31,82	0,86	1,00	14,57
	1,62	2,00	20,77	1,66	1,80	8,30
	2,27	2,80	20,67	2,39	2,67	10,88
W70	0,83	1,10	28,61	0,87	0,97	11,19
	1,60	2,07	25,63	1,64	1,83	10,74
	2,28	2,81	21,01	2,40	2,68	10,93
W80	0,82	1,09	27,97	0,86	0,96	10,39
	1,58	2,08	27,24	1,63	1,91	16,10
	2,31	2,83	20,15	2,41	2,69	10,99
W 90	0,82	1,12	31,07	0,85	0,96	11,66
	1,58	2,06	26,71	1,64	1,95	16,98
	2,32	2,83	19,53	2,41	2,69	10,95
W100	0,81	1,15	34,36	0,84	0,97	14,54
	1,58	2,03	24,66	1,67	1,92	13,98
	2,32	2,82	19,14	2,41	2,68	10,68

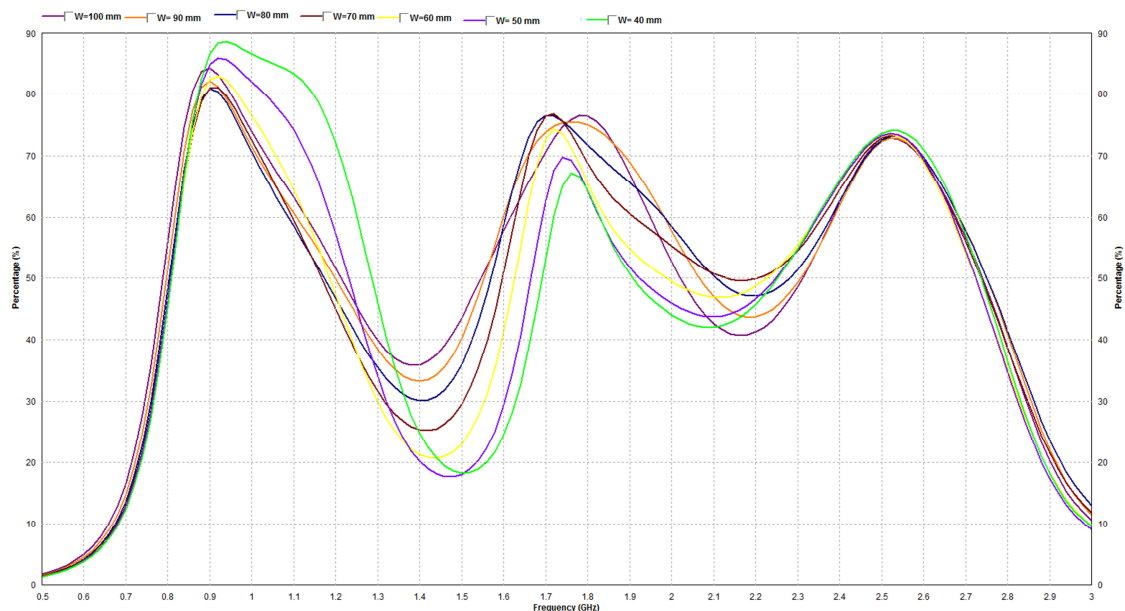
Il·lustració 37 Paràmetres segons ample

En la figura s'observa que al variar l'amplitud de la PCB, l'ample de banda superior no presenta variacions importants, mentre que la banda inferior presenta un mínim d'ample amb amplitud de 80mm però presenta millor adaptació amb un amplitud de 40mm i finalment la banda central presenta el millor ample de banda a 80mm, però millor adaptació a 70mm i una variació de la freqüència de ressonància més pronunciada entre mostres.

S'observa que a la banda alta la variació de la eficiència és mínima, mentre que per sota de 60 mm la eficiència millora i per un marge major. Entre les bandes baixa i central s'observa un mínim de eficiència quan W=60mm i en la banda central a partir de W=60mm el màxim de eficiència varia lleugerament, en canvi l'ample del marge presenta el seu màxim a W= 90 mm

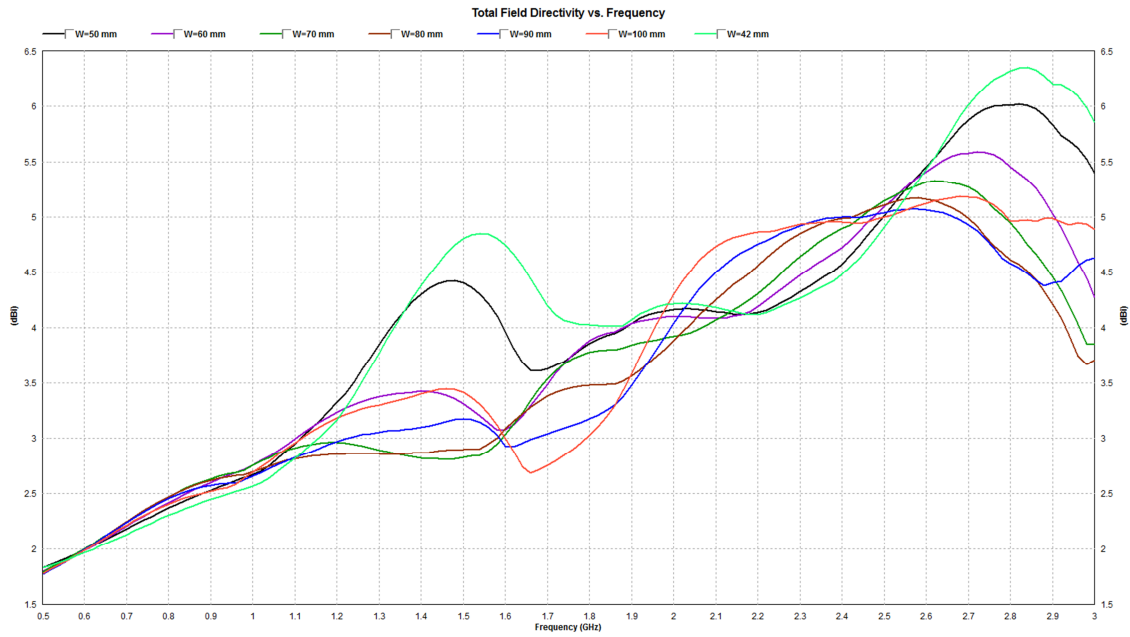


**Il·lustració 38 Comparació eficiència de radiació segons W**



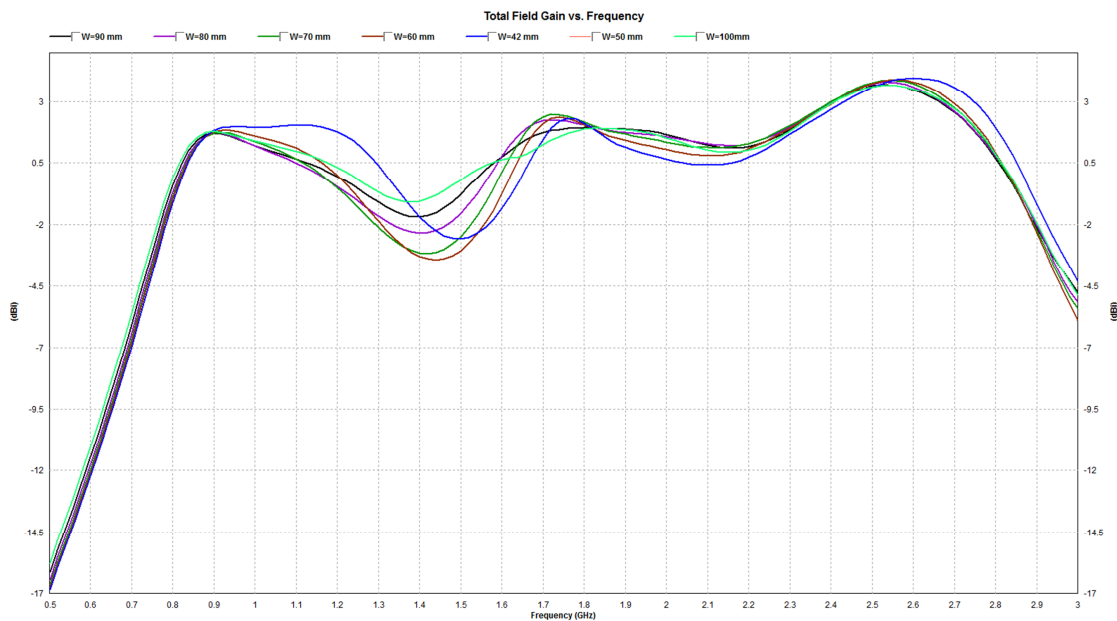
**Il·lustració 39 Comparació eficiència de antena segons W**

En les dos gràfiques anteriors s'observa que la banda 900MHz-2500MHz la eficiència varia segons l'amplada del "groundplane" on a la part inferior de aquesta banda la longitud es inversament proporcional al percentatge i el contrari a la part superior. També s'observa en la il·lustració 36 que presenta millor guany a les bandes dels extrems per a amplades estretes.



**Il·lustració 40 Comparació directivitat segon amplada**

En la il·lustració 40 es pot observar com la directivitat disminueix juntament amb l'amplada de banda a partir de la freqüència 1.1 GHz fins a 1.7 GHz que es redueix fins a 1.6 GHz i a partir de l'ample 80 mm tant la directivitat i l'amplada de banda tornen a augmentar i el mateix torna a passar als 2.5 GHz. També s'observa com la directivitat augmenta a la banda 2.1-2.4 GHz aproximadament al reduir l'amplada.

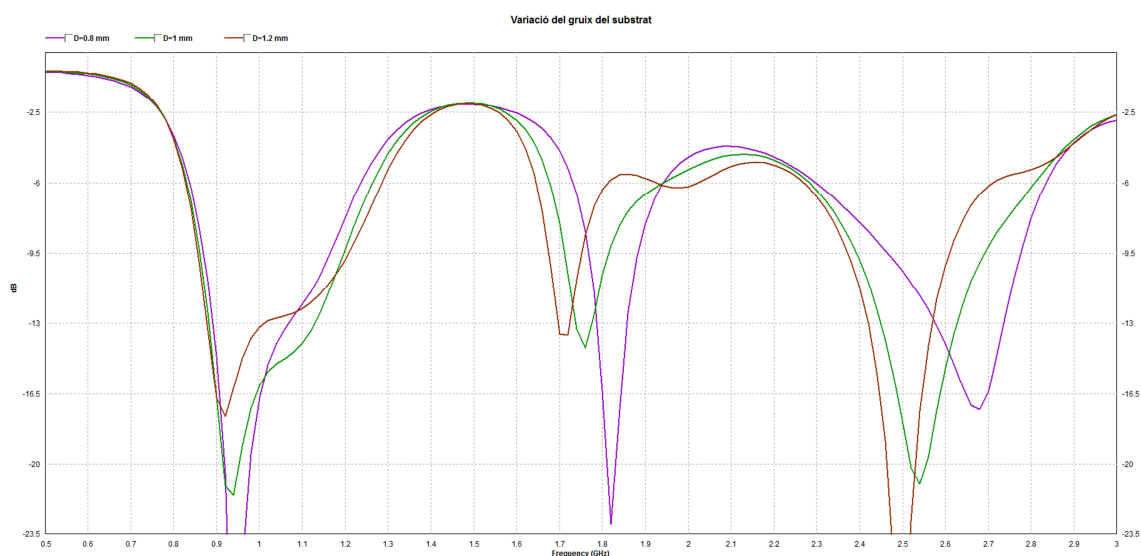


**Il·lustració 41 Comparació del Guany segons W**

En la il·lustració 41 s'observa com ha influït les pèrdues de retorn i la directivitat en el guany de la banda inferior.



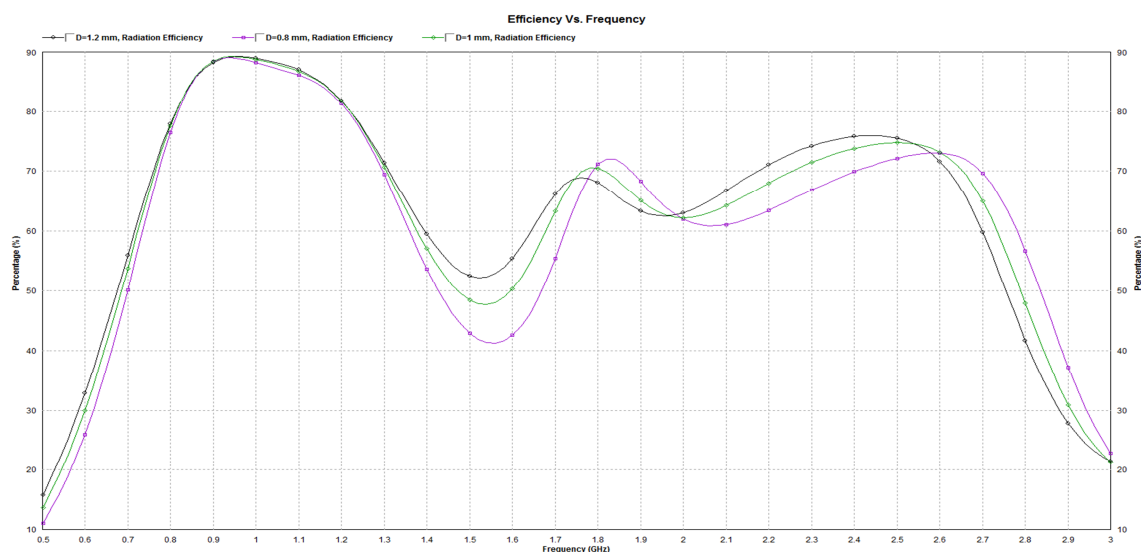
### 3.2.4. Escenari 9: Modificació "Deep"



	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=3,%)	f1 GHz	f2 GHz	BW(ROE=2,%)
D 0,8	0,84	1,24	37,65	0,87	1,17	29,06
	1,73	1,94	11,61	1,76	1,86	5,59
	2,30	2,83	20,83	2,47	2,78	11,84
model 1	0,83	1,26	41,39	0,86	1,20	32,59
	1,68	1,94	14,61	1,71	1,81	5,85
	2,28	2,81	20,53	2,39	2,69	11,79
D 1,2	0,84	1,31	43,06	0,87	1,23	33,90
	1,67	1,81	7,92	1,67	1,75	4,53
	2,27	2,71	17,71	2,37	2,61	9,47

Il·lustració 42 Paràmetres segons gruix

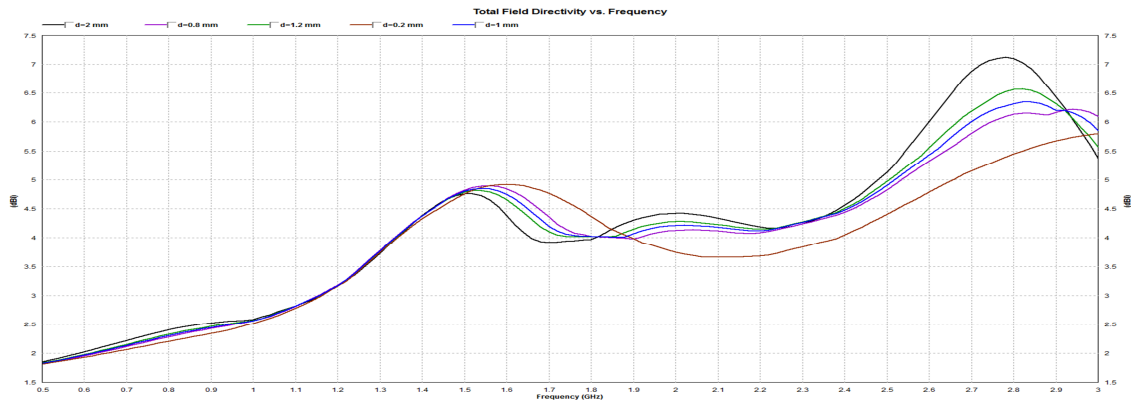
En aquest escenari la reducció del gruix de la PCB millora la adaptació en les bandes baixa i central, mentre que empitjora la superior. Cal destacar la reducció de la banda central en el gruix de 1.2mm degut a la separació en dues bandes a 1.67-1.81 GHz i 1.93-2 GHz.



Il·lustració 43 Comparació eficiència de radiació segons gruix

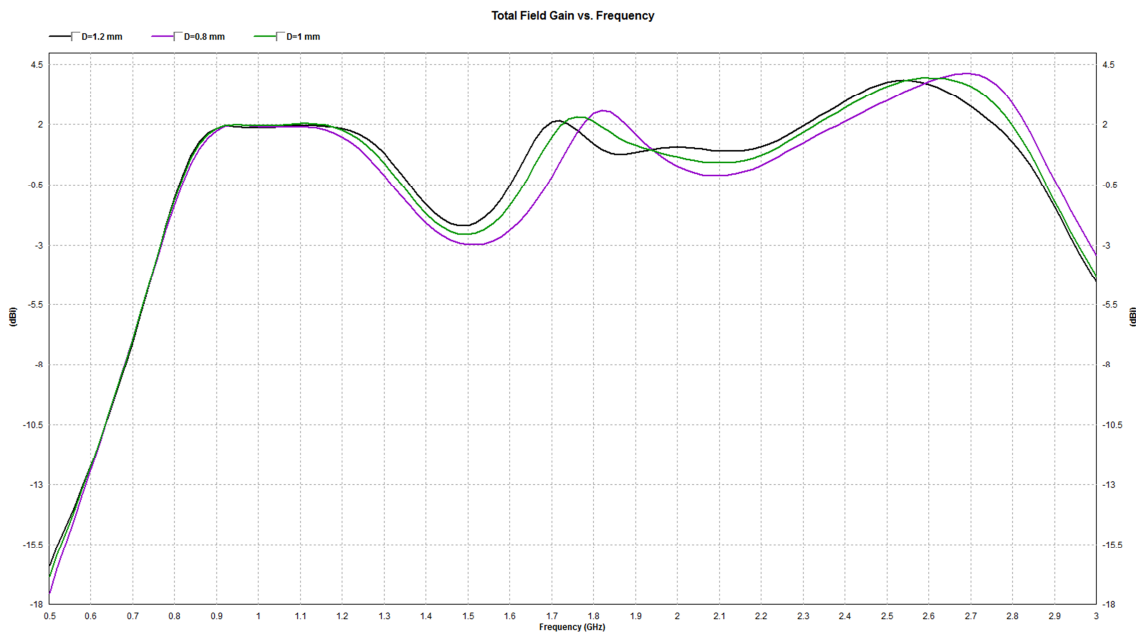


En la il·lustració 43 es pot observar que la eficiència de radiació no presenta cap variació al comportament de les pèrdues de retorn.



Il·lustració 44 Comparació directivitat segons el gruix

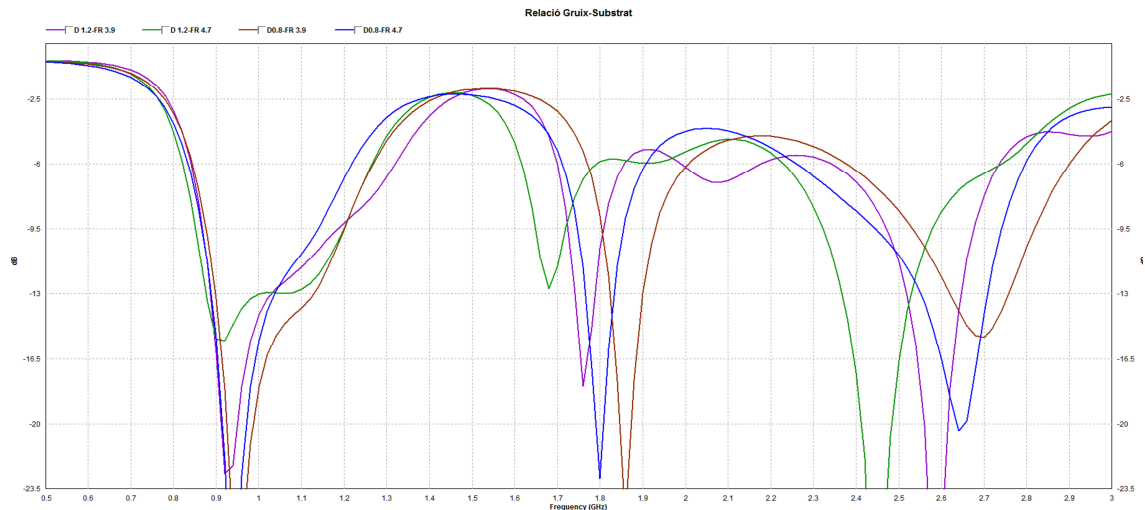
En la il·lustració 44 es presenta el comportament de la directivitat. A la freqüència de 1.6 GHz es pot observar com al augmentar el gruix decreix la directivitat i l'ample de banda, mentre que a 2.8 GHz augmenta la directivitat i decreix l'ample de banda al augmentar el gruix i a 2 GHz augmenta la directivitat sense que s'aprecii un augment significatiu del ample de banda de treball.



Il·lustració 45 Comparació guany segons el gruix

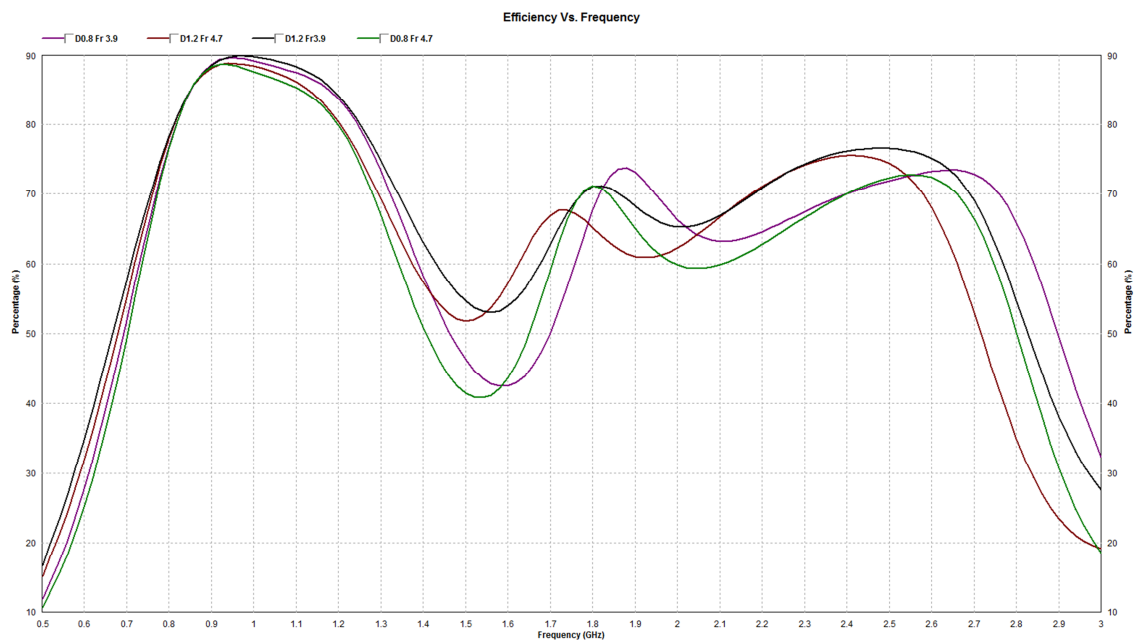
Les variacions del gruix no presenten canvis ni en la eficiència ni el guany de les bandes baixes, també es pot observar que dona millor guany com menor sigui el gruix, però per la banda superior la eficiència de radiació és millor amb més gruix.

### 3.2.5. Escenari 10: Relació tipus de substrat i el seu gruix



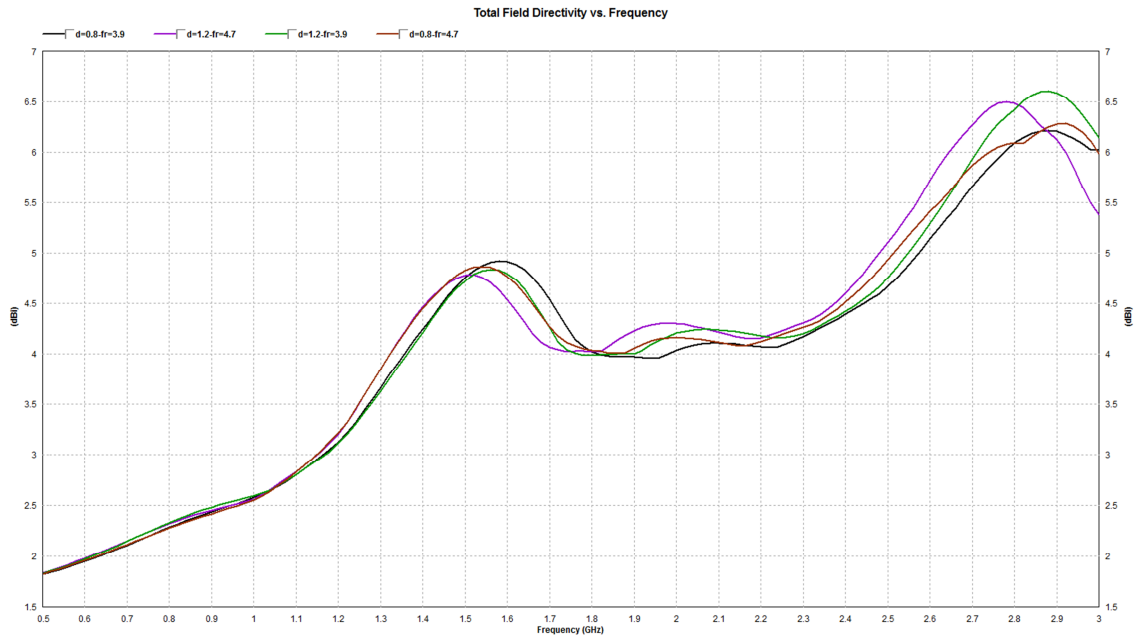
II-lustració 46 Relació S11 Gruix-Material

En el següent punt veurem la relació entre el gruix i el material del substrat. En la banda baixa s'observa una similitud entre l'amplada de banda de valors alts de gruix amb permitivitat elevada i millor adaptades per gruix baix. En la banda central l'amplada de banda té molt poca variació però la freqüència de ressonància augmenta al disminuir la permitivitat amb un gruix gran seguit de disminuir la permitivitat amb gruix petit. La banda superior la freqüència de ressonància segueix amb la mateixa dinàmica que en la banda central però la adaptació disminueix. El cas concret de gruix igual a 1.2mm i permitivitat 3.9 es genera una nova banda de operació entre 2 i 2.2 GHz



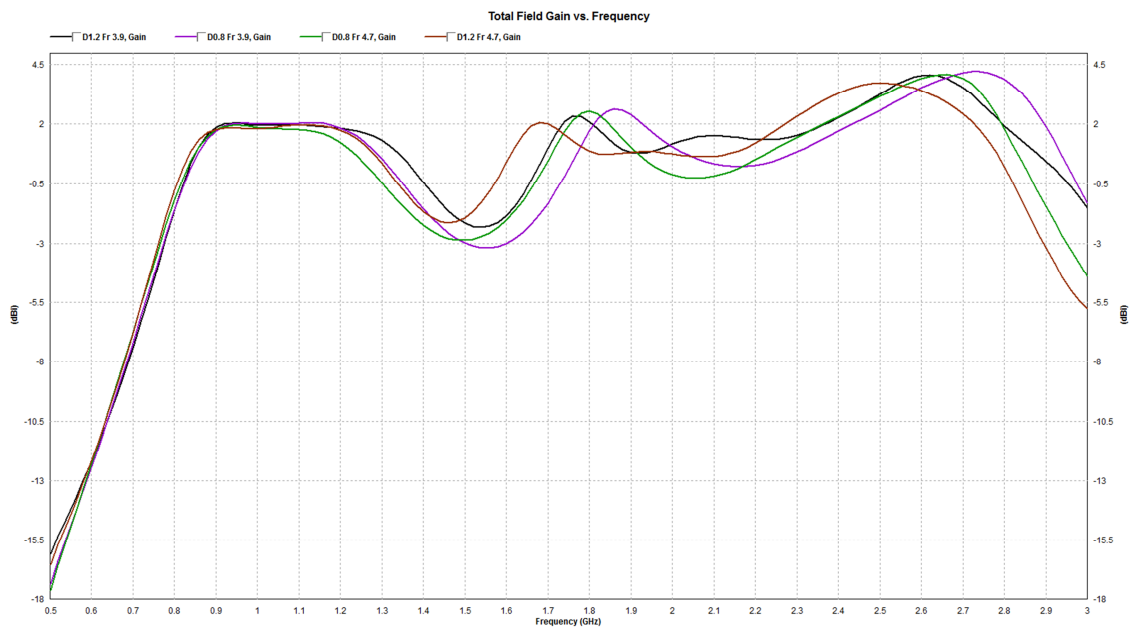
II-lustració 47 Comparació eficiència de radiació D-Fr

A 1 GHz la permitivitat presenta una lleugera millora en la eficiència. En la banda 1.6-2 GHz els paràmetres més baixos donen millor directivitat, mentre que els extrems (gruix alt i permitivitat baixa i a la inversa) donen resultats similars. En canvi a la banda superior el gruix de 1.2 mm presenta un ample de banda i nivell de directivitat major.



**Il·lustració 48 Comparació de les directivitats**

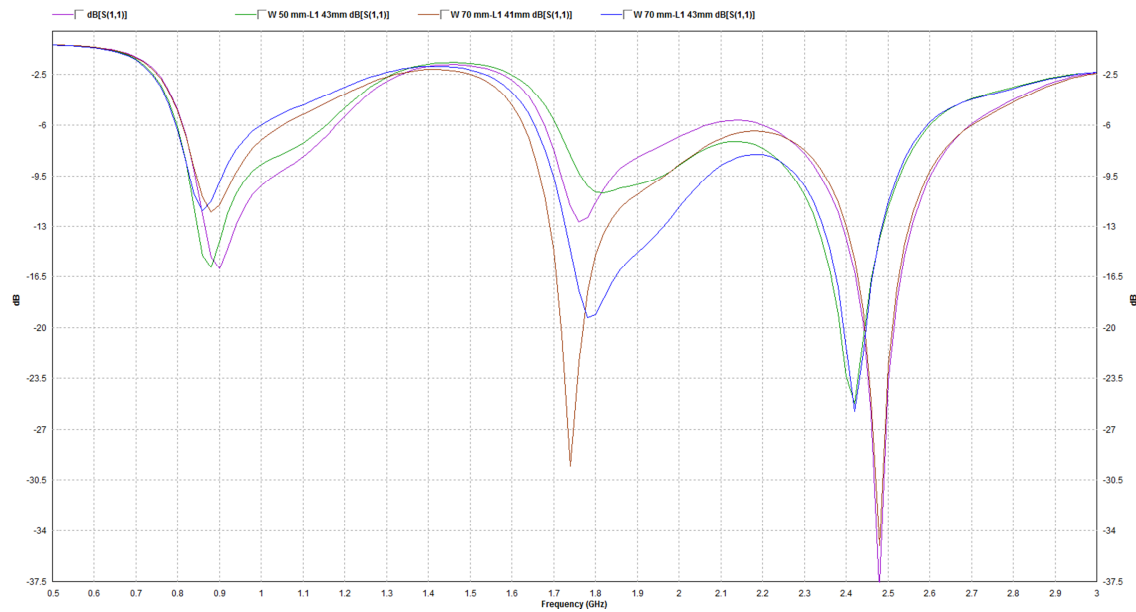
La il·lustració 48 es pot observar que a la freqüència 1.5-1.6 GHz el gruix de 1.2 i Fr 3.9, i d 0.8 i Fr 4.7 tenen un comportament bastant similar tot hi que el primer té millor directivitat a 2.85 GHz.



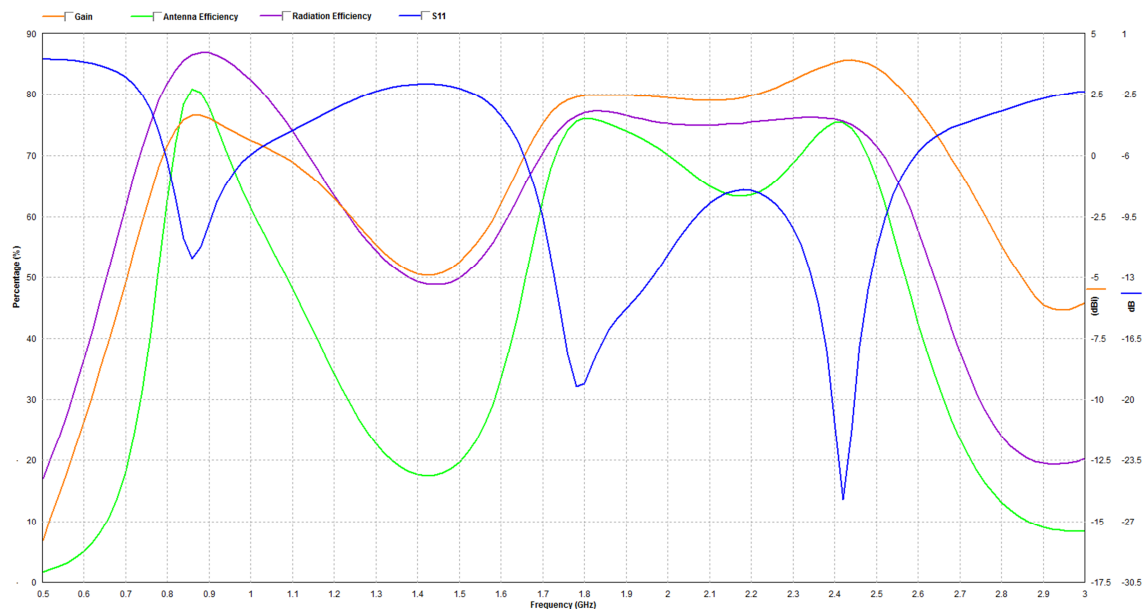
**Il·lustració 49 Guany en relació D i Fr**

Finalment s'observa que el disseny que dona més guany és el que utilitza un gruix petit i una permetivitat baixa.

### 3.2.6. Escenari 11: Augment L1 per a la obtenció de un gran ample de banda.

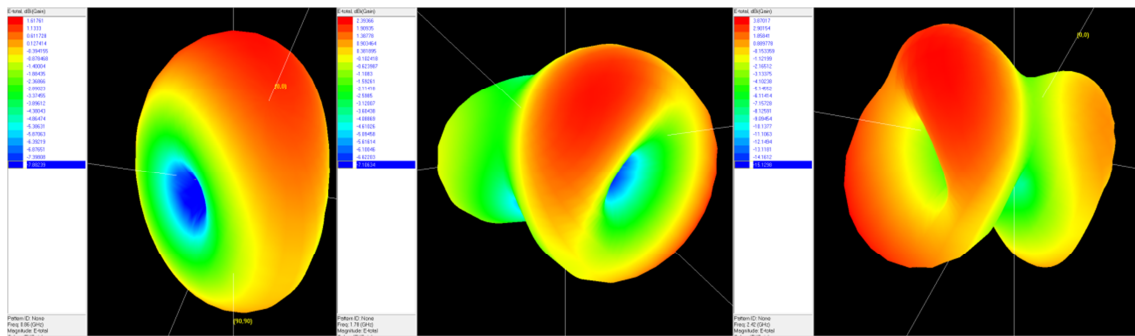


Com s'ha pogut observar en l'escenari 1 al augmentar L1 causava que la adaptació millores en la banda 2100 MHz, degut a la insuficient superfície s'ha ampliat l'ample del PCB per acomodar el nou disseny. Amb un ample de 50mm i L1 de 41mm es troba lleugerament per sobre dels -6 dB. Es pot observar que amb un L1 igual a 43mm s'obté l'objectiu de un gran ample de banda però sacrifica la adaptació de la banda 1700-1900, també hi ha la opció de augmentar l'amplada per tal de reduir el S11 per sota dels -6 dB a la banda d'interès, però amb L1 igual a 41mm es molt just però afectaria al rendiment de la banda LTE 2100, tot hi que amb L1 igual a 43mm dona un eficiència millor el de ample 70mm i L1 41mm té major amplada de banda. També cal observar que a la banda baixa tant l'adaptació com l'ample de banda son similars per la mateixa amplada de PCB, mentre passa al mateix a la banda superior amb la longitud de L1.



II-lustració 50 Comparativa dels diferents paràmetres de W=70 mm, L1=43 mm

En la il·lustració 50 es poden observar la relació entre els diferents paràmetres d'aquest nou disseny. Aquest disseny presenta un guany bastant uniforme en la banda 1.8-2.55 GHz.



Il·lustració 51 Diagrames de radiació a freqüències de ressonància  $W=70$  mm  $L_1=43$  mm

Aquest disseny presenta una lleugera diferencia a les freqüències més altes en el lòbul de difracció.

## 4. Conclusions

Les antenes impreses tenen el gran avantatge de costos de producció baixos i la gran facilitat de calibrar segons les necessitats individuals.

Degut a les tècniques mencionades en l'estat del art no es viable ni la modificació del material per obtenir valors baixos de la constant de limitació dielèctrica ni de les pèrdues de tangent, degut a que un bon disseny dona millors resultats sense un increment en el cost de producció.

A causa del ús de bandes en freqüències altes és necessari que aquestes bandes de operació disposin de guanys elevats i pèrdues de retorn molt baixes per compensar les pèrdues generades per la distància.

S'han pogut complir perfectament els dos primers objectius, mentre que el tercer s'han obtingut els coneixement però no s'han pogut investigar ni simular en profunditat a causa que el projecte s'ha dedicat a l'afectació dels paràmetres externs al disseny.

La planificació ha sofert un cert retard degut al procés de aprenentatge i causat per la segmentació dels sistemes de processament i simulació de les dades. Diverses vegades les simulacions s'han hagut de repetir per tal de obtenir tots els fitxers necessaris de totes les variacions i el temps d'espera de simulació. Tot hi això no ha sigut necessari modificar el termini de presentació del document.

En el futur seria convenient observar com afectarien aquestes modificacions en antenes PIFA i simultàniament l'afectació dels elements paràsits en la base del pedaç on s'assenta la antena PIFA i en la mateixa antena. Un altre punt a investigar seria la col·locació de una antena a cada extrem de la PCB per a sistemes MIMO i observar l'afectació sobre els paràmetres investigats.

## 5. Glossari

EDGE- Enhanced Data rates for GSM Evolution

Gbps- Giga bits per second

GPRS- General Packet Radio Service

GSM- Global System for Mobile Communications

MIMO- Multiple Inputs Multiple Outputs

PCB- Printed Circuit Board

PIFA- Plannar Inverted-F Antenna

ROE- Relación Onda Estacionaria

SMD- Surface Mounted Device

SWR- Stationary Wave Ratio

## 6. Bibliografía

- [1] M. Martinez-Vazquez, O. Litschke, M. Geissler, D. Heberling, A. M. Martinez-Gonzalez and D. Sanchez-Hernandez, "Integrated planar multiband antennas for personal communication handsets," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 2, pp. 384-391, Feb. 2006, doi: 10.1109/TAP.2005.863402.
- [2] Ojaroudi Parchin, Naser & Jahanbakhsh, Haleh & Abd-Alhameed, Raed. (2020). Smartphone Antenna Design Covering 2G~5G Mobile Terminals. 7. 1-6.
- [3] S. I. Naqvi et al., "An Integrated Antenna System for 4G and Millimeter-Wave 5G Future Handheld Devices," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 116555-116566, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2936513.
- [4] Wen-Jiao Liao, Shih-Hsun Chang, and Long-Kun Li, "A Compact Planar Multiband Antenna for Integrated Mobile Devices," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 109, 1-16, 2010.
- [5] A. Chen, M. Sun, Z. Zhang and X. Fu, "Planar Monopole Antenna With a Parasitic Shorted Strip for Multistandard Handheld Terminals," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 51647-51652, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2979483.
- [6] C Picher, J Anguera, A Andújar, C Puente, S Kahng, "Analysis of the human head interaction in handset antennas with slotted ground planes", *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 54 (2), 36-56
- [7] C.P. Baliarda, CB Borau, JA Pros, JS Castany, "Multilevel antenna" US Patent 7,394,432
- [8] L. Naragani, Kumara Swamy K. and N. V. Koteswararao, "Proximity coupled multiband antenna," *2016 International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp. 940-943, doi: 10.1109/WiSPNET.2016.7566272.
- [9] J.A. Pros, C.P. Ballarda, "Multifrequency microstrip patch antenna with parasitic coupled elements" US Patent 7,202,818
- [10] J. Anguera, C. Puente, and C. Borja, "A Procedure to Design Wide-Band Electromagnetically-Coupled Stacked Microstrip Antennas Based on a Simple Network Model". *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol. II, pp.944-947, Orlando, USA July 1999.
- [11] Jaume Anguera, Aurora Andújar, Minh-Chau Huynh, Charlie Orlenius, Cristina Picher, and Carles Puente, "Advances in Antenna Technology for Wireless Handheld Devices", *International Journal on Antennas and Propagation*, Volume 2013, Article ID 838364.
- [12] Sergio Risco, Jaume Anguera, Aurora Andújar, Antonio Pérez, and Carles Puente, "Coupled Monopole Antenna Design for Multiband Handset Devices", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.52, no. 10, pp.359-364, Feb. 2010.
- [13] Jaume Anguera, Iván Sanz, Josep Mumbrú, and Carles Puente, "Multi-Band Handset Antenna with a Parallel Excitation of PIFA and Slot Radiators", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.58, no. 2, pp.348-356, Feb.2010.
- [14] Jaume Anguera, Cristina Picher, Adrián Bujalance, and Aurora Andújar, "Ground Plane Booster Antenna Technology for Smartphones and Tablets", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.58, no. 6, pp.1289-1294, June 2016.



[15] Jaume Anguera, Aurora Andújar, Guzmán Mestre, Jussi Rahola, and Jaakko Juntunen, "Design of Multiband Antenna Systems for Wireless Devices Using Antenna Boosters", *IEEE Microwave Magazine*, Dec. pp.102-114, 2019.

[16] Constantinos I. Votis, Panos Kostarakis, Antonis A. Alexandridis, "Design, Analysis, and Measurements of an Antenna Structure for 2.4 GHz Wireless Applications", *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2010, Article ID 796154, 14 pages, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/796154>