

Tècniques d'alta directivitat en antenes microstrip amb superstrat

Víctor Carrillo Navarro

Grau de Tecnologies de la Telecomunicació
Anàlisi d'antenes

Dr. Jaume Anguera i Dra. Aurora Andújar

Data de lliurament: 17/06/2019

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	Tècniques d'alta directivitat en antenes microstrip amb superstrat
Nom de l'autor:	<i>Víctor Carrillo Navarro</i>
Nom del consultor/a:	<i>Jaume Anguera, Aurora Andújar</i>
Nom del PRA:	<i>German Cobo</i>
Data de lliurament (mm/aaaa):	<i>06/2019</i>
Titulació o programa:	<i>Pla d'estudis de l'estudiant</i>
Àrea del Treball Final:	<i>Anàlisi d'antenes</i>
Idioma del treball:	<i>Català</i>
Paraules clau	<i>Antena microstrip, alta directivitat, entorns 5G</i>

Resum del Treball (màxim 250 paraules):

L'increment de dispositius cada cop més compactes i petits ha suposat un canvi significatiu en la manera d'analitzar, dissenyar e implementar futures millores en el món de les telecomunicacions. Degut a això, s'han de tenir en compte cada cop més, maneres de proporcionar sistemes altament eficients amb el menor impacte econòmic possible.

Aquest treball es centrarà en l'estudi d'antenes microstrip, ja que actualment són un tipus d'antena de les més populars en el mercat de les comunicacions sense fils. Les accions que es duran a terme al llarg del treball passen per la modificació de la mida de les diferents estructures a través del software de simulació IE3D. L'anàlisi dels resultats simulats comparats amb els resultats teòrics i les comparatives corresponents dels paràmetres més importants que intervenen en el disseny real d'una antena (directivitat, eficiència, corrents, pèrdues, diagrames de radiació, etc.).

L'objectiu principal d'aquest treball és analitzar i estudiar a través d'articles relacionats, algunes de les tècniques actuals que permetin aconseguir una alta directivitat sense la necessitat d'utilitzar agrupacions d'antenes. D'aquesta manera, s'estudiarà l'impacte d'introduir en el disseny

estructures amb geometries, formes, tècniques i mides diferents en la millora de la directivitat, millora de l'eficiència d'antena i de radiació i millora dels feixos del diagrama de radiació entre d'altres.

Abstract (in English, 250 words or less):

The huge expansion of increasingly compact and small devices has led to a significant change in the way of analyzing, designing and implementing future improvements in the telecommunications worlds. Due to this fact, it so important to take in consideration, ways of providing highly efficient systems with the least possible economic impact.

This work will focus on the study of microstrip antennas, as they are currently one of the most important and popular kinds of antennas in the wireless communications market. The actions that will be carried out throughout the work will be for example, changing the size of the different structures through the IE3D simulation software. The analysis of the simulated results will be compared with the theoretical results and the corresponding comparatives of the most important parameters that intervene in the real design of an antenna (directivity, efficiency, currents, losses, radiation diagrams, etc.).

The main objective of this work is to analyze and study through related articles, some of the current techniques that allow a high directivity without the need to use grouping of antennas. In this way, the impact of designing structures with geometries, shapes, techniques and different sizes in the improvement of the directivity, antenna efficiency and radiation, improvement of the beams of the radiation diagram among others will be studied.

Índex

1. Introducció.....	2
1.1 Context i justificació	2
1.2 Objectius.....	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Estructura de la memòria.....	3
1.5 Conceptes bàsics.....	4
1.5.1 Coeficient de reflexió.....	4
1.5.2 Eficiència d'antena	5
1.5.3 Directivitat.....	5
2. Anàlisi de l'estat de l'art.....	7
2.1 Introducció	7
2.2 Revisió dels articles	7
2.2.1. Article 1: Use of low-cost patch antennas in modern wireless Technology [2].....	7
2.2.2. Article 2: Microstrip Fractal-Shaped Antennas: A Review [3]	8
2.2.3. Article 3: A High-Gain Microstrip Patch Array Antenna Using a Superstrate Layer [6].....	9
2.2.4. Article 4: Small and High-Directivity Bow-Tie Patch Antenna Based on Sierpinski Fractal [7].....	10
2.2.5. Article 5: An Undersampled High-Directivity Microstrip Patch Array with a Reduced Number of Radiating Elements Inspired on the Sierpinski Fractal [8].....	11
2.2.6. Article 6: A novel High-Directivity Microstrip Patch Antenna Based on Zero-Index Metamaterial [9]	11
2.2.7. Article 7: High Directivity Antenna Using a Modified Peano Space-Filling Curve [10].....	13
2.2.8. Article 8: Microstrip Magnetic Monopole and Dipole Antennas With High Directivity and a Horizontally Polarized Omnidirectional Pattern [11].....	14
2.2.9. Article 9: A Wideband Aperture-Coupled Microstrip Patch Antenna Employing Spaced Dielectric Cover for Enhanced Gain Performance [12].....	14
2.2.10. Article 10: Gain Enhancement of a Microstrip Patch Antenna Using a Cylindrical Electromagnetic Crystal Substrate [13].....	15
2.2.11. Article 11: Genetic Algorithm Optimization of a High- Directivity Microstrip Patch Antenna Having a Rectangular Profile [14].....	16
2.3 Conclusions	17
3. Anàlisi d'estructura amb superstrat	19

3.1 Introducció	19
3.2 Disseny	19
3.3 Simulacions	22
3.3.1 Escenari 1: Pedaç	22
3.3.1.1 Estructura	22
3.3.1.2 Corrent	23
3.3.1.3 Directivitat.....	23
3.3.1.4 Diagrama de radiació	24
3.3.1.5 Eficiència	25
3.3.2 Escenari 2: Estructura amb àrea de 44mm x 39,6mm	26
3.3.2.1 Estructura	26
3.3.2.2 Corrent	27
3.3.2.3 Directivitat.....	28
3.3.2.4 Diagrama de radiació	28
3.3.2.5 Eficiència	29
3.3.3 Escenari 3: Estructura amb àrea de 66mm x 66mm	30
3.3.3.1 Estructura	30
3.3.3.2 Corrent	30
3.3.3.3 Directivitat.....	31
3.3.3.4 Diagrama de radiació	32
3.3.3.5 Eficiència	33
3.3.4 Escenari 4: Estructura amb àrea de 158,4mm x 150mm ...	33
3.3.4.1 Estructura	33
3.3.4.2 Corrent	34
3.3.4.3 Directivitat.....	35
3.3.4.4 Diagrama de radiació	36
3.3.4.5 Eficiència	37
3.3.5 Escenari 5: Estructura amb àrea de 242mm x 237,6mm ...	38
3.3.5.1 Estructura	38
3.3.5.2 Corrent	39
3.3.5.3 Directivitat.....	40
3.3.5.4 Diagrama de radiació	41
3.3.5.5 Eficiència	41
3.3.6 Escenari 6: Estructura amb àrea de 396mm x 396mm	42
3.3.6.1 Estructura	42
3.3.6.2 Corrent	43
3.3.6.3 Directivitat.....	44
3.3.6.4 Diagrama de radiació	45
3.3.6.5 Eficiència	45
3.3.7 Escenari 7: Estructura amb àrea de 506mm x 528mm	46
3.3.7.1 Estructura	46
3.3.7.2 Corrent	47
3.3.7.3 Directivitat.....	48
3.3.7.4 Diagrama de radiació	49
3.3.7.5 Eficiència	49
3.5 Conclusions	50
4. Conclusions i futur treball	54
5. Referències	55

Llista de figures

FIGURA 1. CONFIGURACIÓ BÀSICA D'ANTENA MICROSTRIP EXCITADA AMB SONDA COAXIAL	4
FIGURA 2. ANTENA MICROSTRIP EN FORMA DE RECTANGLE	7
FIGURA 3. ANTENA MICROSTRIP AMB TÈCNICA DE FRACTAL SIERPINSKI MODIFICAT	8
FIGURA 4. ESTRUCTURA D'ANTENA AMB UN SUPERSTRAT	9
FIGURA 5. RESULTATS DE LA SIMULACIÓ DEL <i>PATCH</i> AMB I SENSE SUPERSTAT	9
FIGURA 6. DIAGRAMES DE RADIACIÓ DE L'ANTENA DE TIPUS SIERPINSKI BOW-TIE	10
FIGURA 7. ANTENES MICROSTRIP DE TIPUS CIRCULAR I SIERPINSKI BOWTIE.....	11
FIGURA 8. GEOMETRIA DE L'ESTRUCTURA DE L'ANTENA VISTA DES DEL COSTAT (A) I DES DE D'ALT (B).12	
FIGURA 9. DIAGRAMES DE RADIACIÓ SIMULAT I TEÒRIC DE L'ANTENA AMB ZIM A LA FREQUÈNCIA DE 8.75 GHZ	12
FIGURA 10. CORRENT I CAMP ELÈCTRIC DE LA CORBA DE PEANO PROPOSADA A L'ARTICLE.....	13
FIGURA 11. TAULA AMB LA COMPARATIVA DELS RESULTATS OBTINGUTS DE LES TRES ANTENES	13
FIGURA 12. GEOMETRIA DE L'ANTENA MICROSTRIP MONOPOL PROPOSADA A L'ARTICLE.....	14
FIGURA 13. GEOMETRIA DE L'ANTENA MICROSTRIP <i>CPW-FED APERTURE-COUPLED</i>	15
FIGURA 14. GEOMETRIA DE L'ANTENA MICROSTRIP CIRCULAR EXCITADA AMB SONDA COAXIAL	16
FIGURA 15. CONFIGURACIONS DE LES AGRUPACIONS D'ANTENES: (A) ALIMENTACIÓ AMB SONDA COAXIAL (B) ALIMENTACIÓ EN PARAL·LEL (C) ALIMENTACIÓ EN SÈRIE.....	17
FIGURA 16. ESTRUCTURA DEL PEDAÇ EN 2D I 3D EN IE3D.....	19
FIGURA 17. DISSENY TEÒRIC DEL PEDAÇ ALIMENTAT AMB UNA SONDA COAXIAL	20
FIGURA 18. PARÀMETRES DE LA CAPA DEL DIELÈCTRIC (<i>SUBSTRATE</i>) EN IE3D	20
FIGURA 19. CARTA SMITH DEL PEDAÇ EN IE3D.....	21
FIGURA 20. ESTRUCTURA SITUADA A UNA DISTÀNCIA H DEL PEDAÇ.....	21
FIGURA 21. DISSENY DE LA CEL·LA TEÒRICA (ESQUERRA) I SIMULADA A IE3D (DRETA).....	21
FIGURA 22. ESTRUCTURA DEL PEDAÇ EN 2D I 3D EN IE3D.....	22
FIGURA 23. CORRENT A 3,85 GHZ DEL PEDAÇ EN IE3D.....	23
FIGURA 24. CORRENT A 3,85 GHZ DEL PEDAÇ EN IE3D OPERANT EN EL SEU MODE FONAMENTAL	23
FIGURA 25. DIRECTIVITAT DEL PEDAÇ EN IE3D	24
FIGURA 26. DIAGRAMA DE RADIACIÓ A 3,85 GHZ DEL PEDAÇ EN IE3D	25
FIGURA 27. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DEL PEDAÇ EN IE3D.....	25
FIGURA 28. DISSENY DE LA CAPA DE DIELÈCTRIC EN IE3D	26
FIGURA 29. ESTRUCTURA AMB ÀREA 44MM X 39,6MM EN 2D I 3D EN IE3D.....	26
FIGURA 30. CORRENT A 3,85 GHZ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 44MM X 39,6MM EN IE3D.....	27
FIGURA 31. CORRENT A 3,85 GHZ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 44MM X 39,6MM EN IE3D.....	27
FIGURA 32. DIRECTIVITAT DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 44MM X 39,6MM EN IE3D	28
FIGURA 33. DIAGRAMA DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 44MM X 39,6MM EN IE3D.....	29
FIGURA 34. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 44MM X 39,6MM EN IE3D.....	29
FIGURA 35. ESTRUCTURA AMB ÀREA 66MM X 66MM EN 2D I 3D EN IE3D.....	30
FIGURA 36. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 66MM X 66MM EN IE3D.....	31
FIGURA 37. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 66MM X 66MM EN IE3D.....	31
FIGURA 38. DIRECTIVITAT DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 66MM X 66MM EN IE3D	32
FIGURA 39. DIAGRAMA DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 66MM X 66MM EN IE3D	32
FIGURA 40. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 66MM X 66MM EN IE3D	33
FIGURA 41. ESTRUCTURA AMB ÀREA 158,4MM X 150MM EN 2D I 3D EN IE3D.....	34
FIGURA 42. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 158,4MM X 150MM EN IE3D.....	35
FIGURA 43. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 158,4MM X 150MM EN IE3D.....	35
FIGURA 44. DIRECTIVITAT DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 158,4MM X 150MM EN IE3D	36

FIGURA 45. DIAGRAMA DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 158,4MM X 150MM EN IE3D.....	37
FIGURA 46. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 158,4MM X 150MM EN IE3D.....	38
FIGURA 47. ESTRUCTURA AMB ÀREA 242MM X 237,6MM EN 2D I 3D EN IE3D.....	39
FIGURA 48. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 242MM X 237,6MM EN IE3D.....	39
FIGURA 49. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 242MM X 237,6MM EN IE3D.....	40
FIGURA 50. DIRECTIVITAT DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 242MM X 237,6MM EN IE3D	40
FIGURA 51. DIAGRAMA DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 242MM X 237,6MM EN IE3D.....	41
FIGURA 52. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 242MM X 237,6MM EN IE3D.....	42
FIGURA 53. ESTRUCTURA AMB ÀREA 396MM X 396MM EN 2D I 3D EN IE3D.....	43
FIGURA 54. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 396MM X 396MM EN IE3D.....	43
FIGURA 55. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 396MM X 396MM EN IE3D.....	44
FIGURA 56. DIRECTIVITAT DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 396MM X 396MM EN IE3D	44
FIGURA 57. DIAGRAMA DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 396MM X 396MM EN IE3D.....	45
FIGURA 58. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 396MM X 396MM EN IE3D.....	46
FIGURA 59. ESTRUCTURA AMB ÀREA 506MM X 528MM EN 2D I 3D EN IE3D.....	47
FIGURA 60. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 506MM X 528MM EN IE3D.....	47
FIGURA 61. CORRENT DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 506MM X 528MM EN IE3D.....	48
FIGURA 62. DIRECTIVITAT DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 506MM X 528MM EN IE3D	48
FIGURA 63. DIAGRAMA DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA A 3,85 GHZ AMB ÀREA 506MM X 528MM EN IE3D.....	49
FIGURA 64. EFICIÈNCIA D'ANTENA I DE RADIACIÓ DE L'ESTRUCTURA AMB ÀREA 506MM X 528MM EN IE3D.....	50
FIGURA 65. GRÀFICA COMPARATIVA DE LA DIRECTIVITAT EN DB TEÒRICA (BLAU) I DIRECTIVITAT EN DB SIMULADA (TARONJA)	51
FIGURA 66. COMPARATIVA DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓ A 3,85GHZ DE TOTS ELS ESCENARIS EN IE3D .	52
FIGURA 67. COMPARATIVA DE LA DIRECTIVITAT DEL PEDAÇ SOL (NEGRE) I DE L'ESTRUCTURA (BLAU) EN IE3D.....	52
FIGURA 68. COMPARATIVA DE LES CORRENTS A 3,85GHZ DE TOTS ELS ESCENARIS EN IE3D (MIDES)	53
FIGURA 69. COMPARATIVA DE LES CORRENTS A 3,85GHZ DE TOTS ELS ESCENARIS EN IE3D	53

Capítol 1

Introducció

1.Introducció

En un mon cada vegada més connectat i amb un continu creixement de la demanda de dispositius cada cop més petits i eficients tecnològicament parlant, fa que l'estudi, disseny i la creació d'antenes esdevingui un tret molt important per a la nostra societat.

Actualment existeixen infinitat d'articles i publicacions que estudien com millorar el rendiment i les prestacions de les antenes. Moltes de les solucions passen per l'ús d'agrupacions d'antenes. L'inconvenient d'aquest tipus de solucions és la complexitat a la hora d'alimentar cadascuna de les antenes dins de l'agrupació i l'acoblament entre elles.

Les antenes microstrip són un tipus d'antenes que resulten molt útils a la hora de ser utilitzades en dispositius mòbils, ja que poden ser impreses directament a la placa del circuit. Alguns dels avantatges d'aquest tipus d'antenes son el seu baix cost de producció, poc pes i fàcil fabricació. Degut al problema de la complexitat dels sistemes d'alimentació en les agrupacions d'antenes, resulta interessant l'estudi i disseny d'una única antena amb un únic punt d'alimentació on es pugui veure com la incorporació de diferents materials i estructures augmenta o disminueix el seu rendiment.

Per a estudiar aquest comportament, aquest treball es centrarà en l'anàlisi i estudi de les diferents tècniques per aconseguir millorar la directivitat en antenes microstrip sense la necessitat d'utilitzar agrupacions d'antenes.

1.1 Context i justificació

Aquest treball neix de la necessitat de fer un anàlisi i estudiar el comportament de diferents antenes i la seva directivitat en base a diferents estructures.

L'anàlisi es centrarà en antenes microstrip per a estudiar diferents comportaments que afecten a l'eficiència de radiació i d'antena, el diagrama de radiació i la directivitat depenen dels materials i estructures utilitzats.

1.2 Objectius

Els objectius d'aquest treball son:

- Estudiar i investigar les diferents tècniques disponibles actualment per a la millora de la directivitat sense haver de recórrer a una agrupació d'antenes
- Adquirir els coneixements per al disseny d'antenes microstrip i simulació dels resultats paramètrics.
- Analitzar, dissenyar i simular estructures amb el software IE3D.

1.3 Metodologia

Per a la realització d'aquests treball s'han estudiat diferents escenaris a través d'articles relacionats amb la temàtica d'investigació escollida. En aquest cas s'han tractat articles que expliquen com aconseguir augmentar la directivitat a través d'estructures geomètriques amb unes propietats específiques que afavoreixen el resultat esperat.

Per al disseny i simulació d'aquestes antenes i estructures 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 la directivitat, els diagrames de radiació, l'eficiència d'antena, l'eficiència de radiació, corrents elèctriques, etc.

1.4 Estructura de la memòria

La memòria està dividida en quatre capítols. Primerament, es fa una breu introducció al treball, amb els conceptes bàsics i les eines necessàries per al desenvolupament dels escenaris d'estudi. Seguidament, en el capítol 2, es fa un resum dels articles que parlen d'antenes microstrip i de les diferents tècniques que existeixen per aconseguir augmentar la directivitat. A continuació, en el capítol 3, s'ha escollit un article que tracta d'una tècnica concreta per a augmentar la directivitat de la antena microstrip, per a replicar-ho en l'entorn de simulació i poder extreure valoracions analítiques.

Finalment, en l'últim capítol es presenten les conclusions, valoració i discussió dels resultats obtinguts.

1.5 Conceptes bàsics

Les antenes microstrip són un tipus d'antena que es caracteritzen per seu poc pes, els seu baix cost de fabricació i complexitat. La configuració bàsica d'una antena microstrip està formada quatre elements: el pla conductor en el qual se situa un pedaç metàl·lic (*patch*), el material dielèctric amb una constant dielèctrica (ϵ_r), el pla de massa i l'alimentador (*feed*).

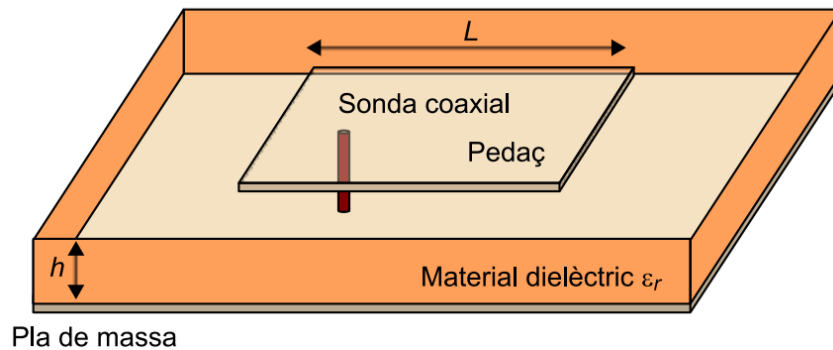


Figura 1. Configuració bàsica d'antena microstrip excitada amb sonda coaxial

Existeixen diferents mecanismes d'excitació: a través de línia microstrip, mitjançant sonda coaxial, mitjançant ranura en el pla de massa o amb doble excitació de línia microstrip. Gràcies al mecanisme d'excitació amb sonda coaxial es possible alimentar el pedaç en el punt d'impedància que nosaltres vulguem.

1.5.1 Coeficient de reflexió

El coeficient de reflexió s'utilitza per a mesurar la relació entre l'amplitud de l'ona reflectida i l'amplitud de l'ona incident. La forma de calcular el coeficient de reflexió matemàticament es a través de la següent fórmula:

$$S_{11} = \frac{Z_i - Z_0}{Z_i + Z_0}$$

Equació 1. Coeficient de reflexió

1.5.2 Eficiència d'antena

L'eficiència de radiació es defineix com la relació entre la resistència de radiació i la suma de la resistència de radiació i les pèrdues òhmiques. Matemàticament es defineix com:

$$\eta_r = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{\Omega}}$$

Equació 2. Eficiència de radiació

L'eficiència d'antena es defineix com la relació entre la potència radiada per part de l'antena cap a l'espai i la potència que lliura el propi generador. Matemàticament es defineix com [1]:

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

Equació 3. Eficiència d'antena

1.5.3 Directivitat

La directivitat d'una antena es defineix com la capacitat de radiar la potència cap a direccions determinades. Depenen de la funció que es vulgui donar a una antena, la seva directivitat serà menys o més directiva.

Capítol 2

Anàlisi de l'estat de l'art

2. Anàlisi de l'estat de l'art

2.1 Introducció

En aquest capítol es tracten diferents articles que fan d'introducció a l'anàlisi de les diferents tècniques que existeixen per augmentar la directivitat de les antenes.

2.2 Revisió dels articles

2.2.1. Article 1: Use of low-cost patch antennas in modern wireless Technology [2]

En aquest article es parla de les característiques, estructura, disseny, paràmetres i aplicacions de les antenes microstrip. Les antenes microstrip estan formades per quatre grans parts: el pedaç conductor (*patch*), un dielèctric, el pla base i un *feed* d'excitació.

Alguns dels avantatges de les antenes microstrip son: cost de fabricació baix, fàcil implementació en superfícies corbes dels vehicles o el producte concret, resistent a les vibracions o als cops, poden produir polaritzacions circulars o lineals depenen de les posicions del *feed*, etc. Alguns dels inconvenients o limitacions son ample de banda estrets. En antenes primes les pèrdues del conductor i el dielèctric poden ser grans i afectar a l'eficiència de l'antena.

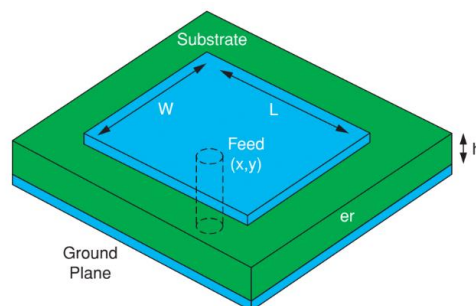


Figura 2. Antena microstrip en forma de rectangle

Els paràmetres de l'antena depenen de les propietats dels materials, de les dimensions del pedaç, de la freqüència d'operació, altura del pedaç al pla base, etc. Per exemple, quant més gran és la permitivitat relativa del dielèctric o més gran és la freqüència d'operació més petit és la mida del pedaç.

L'eficiència disminueix a mida que l'altura del substrat o la constant del dielèctric augmenta.

2.2.2. Article 2: Microstrip Fractal-Shaped Antennas: A Review [3]

En aquest article es mostren diferents estudis de proves per aprofitar els beneficis de la tecnologia fractal en els diferents sentits [4] [5].

Alguns dels avantatges són els següents. *Self-similarity* (autosimilaritat) que és una propietat útil per al disseny d'antenes multifreqüència o per al disseny d'arrays multibanda. *Fractal Dimension* (dimensió fractal) serveix per al disseny d'antenes elèctricament petites com pot ser el cas de les antenes microstrip. Els *Mass Fractals and Boundary Fractals* s'utilitzen per a la obtenció d'elements altament directius i *undersampled arrays*.

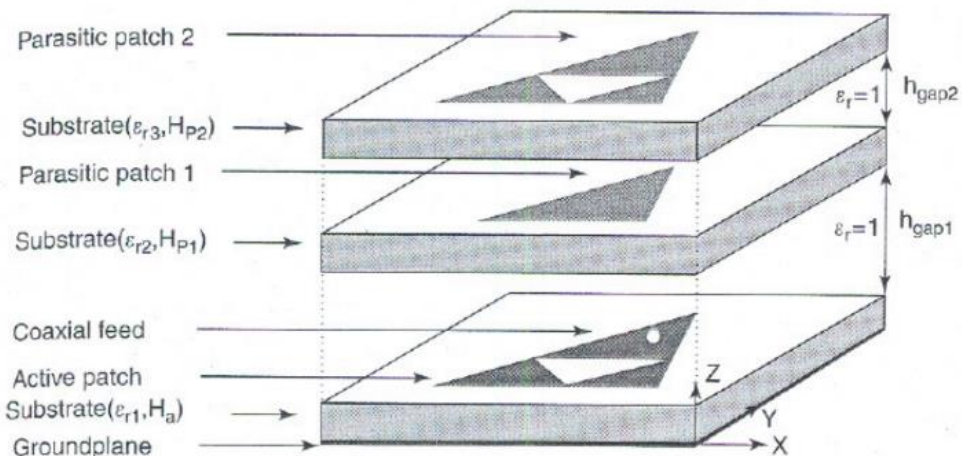


Figura 3. Antena microstrip amb tècnica de fractal Sierpinski modificat

Algunes de les conclusions són que les antenes dissenyades amb fractals treballen amb modes *fracton* i *fractino*, que presenten un patró de radiació *broadside* amb una directivitat major que la del mode fonamental. Els *arrays* de microstrip utilitzen menys elements que fan una reducció de la complexitat de la xarxa del *feed*, obrint portes per aplicacions on l'espai, el cost i el volum són factors clau.

2.2.3. Article 3: A High-Gain Microstrip Patch Array Antenna Using a Superstrate Layer [6]

En aquest article es fa un experiment per veure l'efecte que té un súper substrat en una antena microstrip en relació al guany. La comparativa es realitza sobre el *patch* amb el súper substrat (antena 2x8 d'arrays) amb un *patch* sense el súper substrat (antena 4x8 d'arrays).

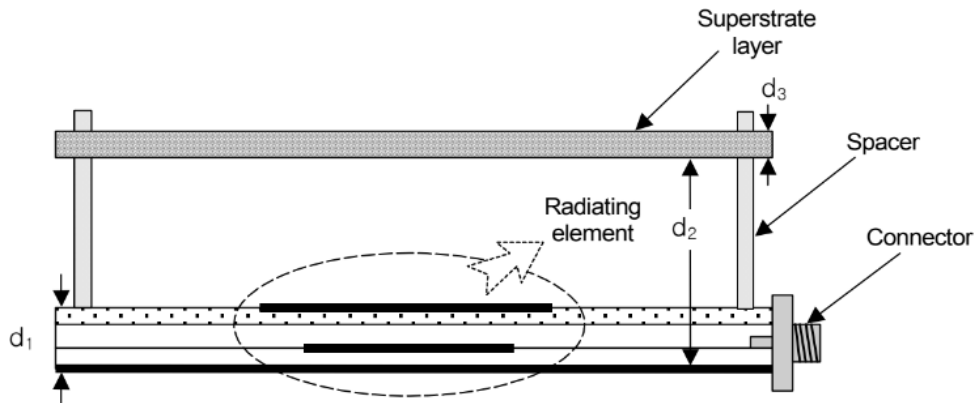


Figura 4. Estructura d'antena amb un superstrat

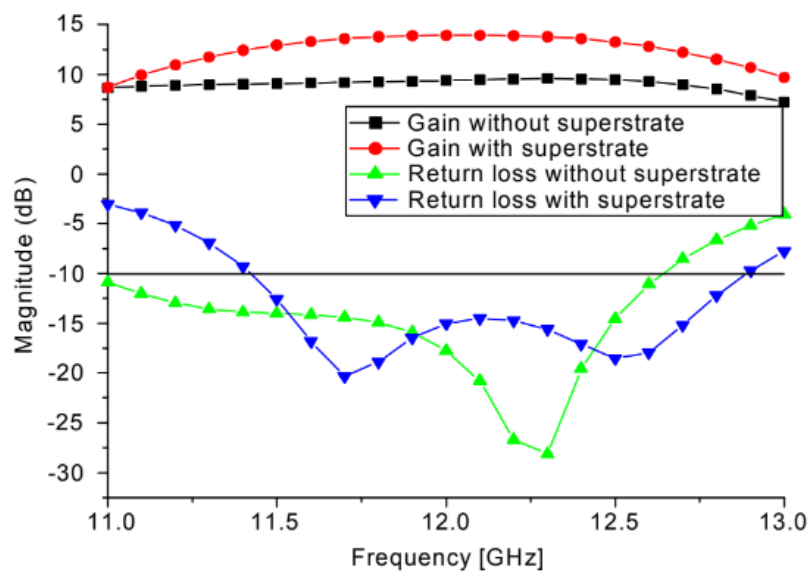


Figura 5. Resultats de la simulació del *patch* amb i sense superstrat

Gràcies a l'experiment es pot veure que el *patch* amb el súper substrat aconsegueix un alt guany d'uns aproximadament 22,5 dBi i un valor d'ample de banda d'aproximadament un 17%. Aquest tipus d'antena pot resultar útil per sistemes de guany alt.

2.2.4. Article 4: Small and High-Directivity Bow-Tie Patch Antenna Based on Sierpinski Fractal [7]

Aquest article estudia el comportament que tenen diferents tipus d'antenes (Square, BowTie, SPK-BowTie1-3). Com a resultats rellevants s'obté que l'antena Sierpinski Bow Tie 3 presenta una disminució important de la freqüència de ressonància (1,128 GHz) en comparació al *square patch* (1,947 GHz), i a més millor que la freqüència de ressonància del *patch bow-tie* convencional (1,247 GHz aproximadament).

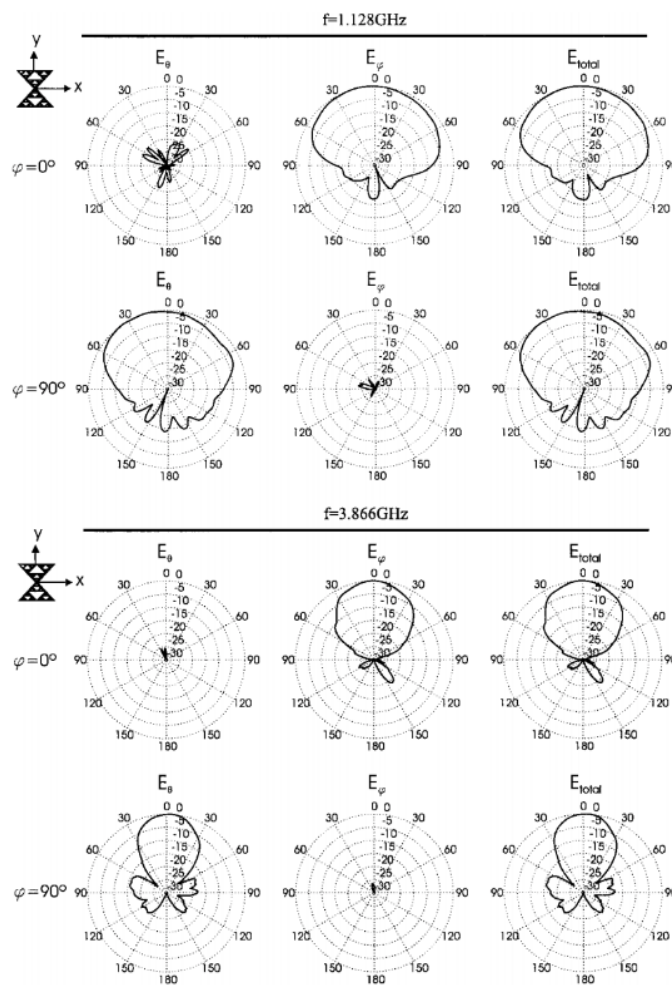


Figura 6. Diagrames de radiació de l'antena de tipus Sierpinski bow-tie

Aquesta reducció d'un 42% de la freqüència de ressonància és molt interessant per a aplicacions on es necessitin antenes petites.

Per altre banda, la interacció fractal permet l'aparició del mode *fracton*, que permet una directivitat més gran i un lòbuls (*sidelobes*) més petits mantenint una mida petita elèctricament parlant.

2.2.5. Article 5: An Undersampled High-Directivity Microstrip Patch Array with a Reduced Number of Radiating Elements Inspired on the Sierpinski Fractal [8]

En aquest article es proposa l'ús d'arrays d'antenes amb geometria del tipus Sierpinski Fractal BowTie amb microstrip d'alta directivitat és útil per a dissenyar arrays amb menys elements radiants i amb la mateixa directivitat que els arrays euclidians (en el cas del document, circular).

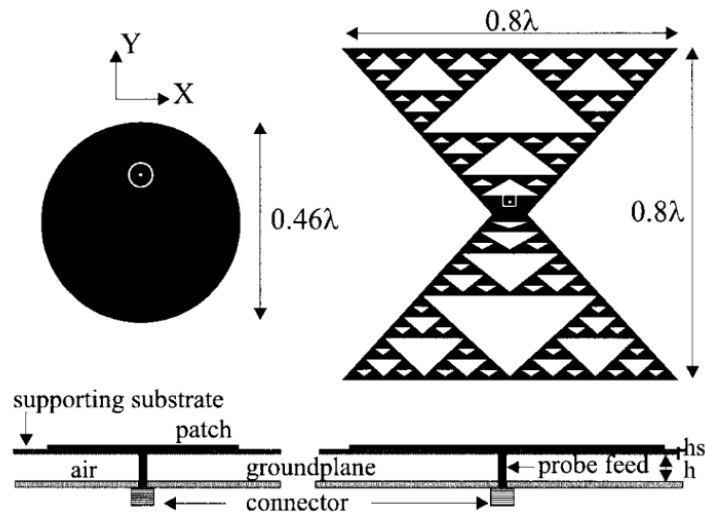


Figura 7. Antenes microstrip de tipus circular i Sierpinski bowtie

El nombre d'elements es veu reduït per un factor d'uns 2.48, que facilitarà llavors la reducció de la complexitat i de l'espai de la xarxa d'alimentació (*feeding network*). Podria resultar útil per a l'aplicació d'antenes dissenyades especialment per satèl·lits per exemple.

2.2.6. Article 6: A novel High-Directivity Microstrip Patch Antenna Based on Zero-Index Metamaterial [9]

Aquest article comença fent una reflexió de la capacitat que tenen les antenes planes d'alta directivitat per a ser utilitzades en circuits impresos (PCB). D'aquesta manera es fa una proposta d'antena d'alta directivitat utilitzant un nou tipus d'estructura amb dos capes amb *zero-index materials* (ZIM). Es realitza el disseny de la cel·la a simular i es troba que el índex de refracció succeeix a la freqüència de 8,75 GHz.

S'utilitza l'estructura dissenyada amb materials ZIM com un superstrat per a l'antena microstrip i es fan les simulacions corresponents.

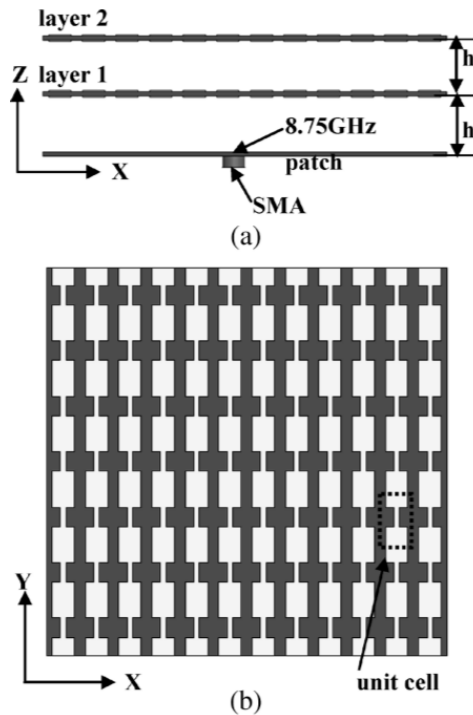


Figura 8. Geometria de l'estructura de l'antena vista des del costat (a) i des de d'alt (b)

Com a conclusions importants a les que s'arriben en l'article son, que la directivitat de l'antena microstrip, amb una freqüència de ressonància igual a la trobada de 8,75 GHz, ha sigut millorada de forma eficient quan s'ha utilitzat l'estructura amb materials ZIM a sobre.

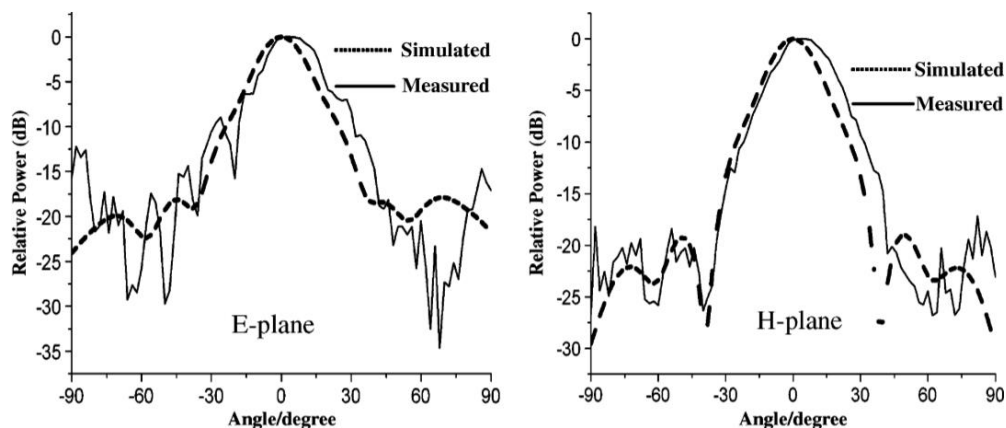


Figura 9. Diagrames de radiació simulat i teòric de l'antena amb ZIM a la freqüència de 8.75 GHz

2.2.7. Article 7: High Directivity Antenna Using a Modified Peano Space-Filling Curve [10]

En aquest article es parla de que l'ús d'agrupacions d'antenes microstrip amb alta directivitat per comunicacions per satèl·lit estan competint amb l'ús d'antenes parabòliques, gràcies a la seva petita mida i pes. La configuració de l'antena que es proposa a l'article es basa en la corba de Peano, que és un tipus d'objecte fractal.

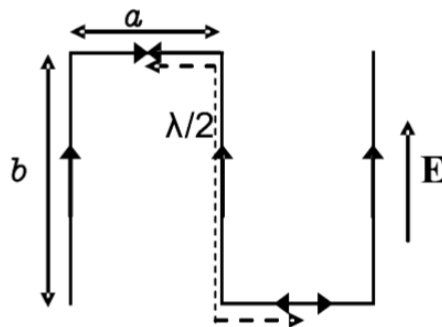


Figura 10. Corrent i camp elèctric de la corba de Peano proposada a l'article

Es realitzen tres modificacions de les antenes en base a aquesta configuració i s'imprimeixen a un substrat amb constant dielèctrica de valor 1,2 i amb un gruix de 2,4 mm per operar a una freqüència de 3,5 GHz. Es realitza la simulació a través del software IE3D amb una alimentació basada en sonda coaxial de 50 ohms.

PERFORMANCE OF THE THREE PROPOSED ANTENNAS

	Antenna (I)	Antenna (II)	Antenna (III)
BW (MHz) $S_{11} < -10$ dB	110	28	13
Directivity (dB)	16	17.5	18.6
Directivity for a uniform amplitude aperture antenna having the same dimensions $[4\pi\lambda^2 \times \text{area}]$ (dB)	14	15.76	17
S_{11} (dB)	-27 @3.55 GHz	-24 @3.56 GHz	-30@3.56 GHz
Radiation Efficiency	0.93	0.93	0.77
Gain (dB)	15.7	17.2	17.5
3dB Directivity BW (MHz)	128	116	106
3dB Gain BW (MHz)	110	75	40

Figura 11. Taula amb la comparativa dels resultats obtinguts de les tres antenes

Com a conclusions de l'experiment, s'observa que modificant la forma o l'estructura original de la corba s'aconsegueix una directivitat màxima de 18,6 dB. L'estructura proposada, evita la complexitat de l'alimentació de la xarxa a través de les agrupacions dels dipols, ja que només utilitza un punt d'alimentació per a l'antena de la corba de Peano proposada.

2.2.8. Article 8: Microstrip Magnetic Monopole and Dipole Antennas With High Directivity and a Horizontally Polarized Omnidirectional Pattern [11]

En aquest article es desenvolupen dues antenes que tenen alta directivitat al llarg del pla elèctric i amb polarització horitzontal. Els anàlisis teòrics revelen que la directivitat de l'antena magnètica monopòl pot ser millorada si es manté ressonant en el mode fonamental TM_{11} a la freqüència d'operació. A la Figura 12 es mostra la geometria de l'antena proposada.

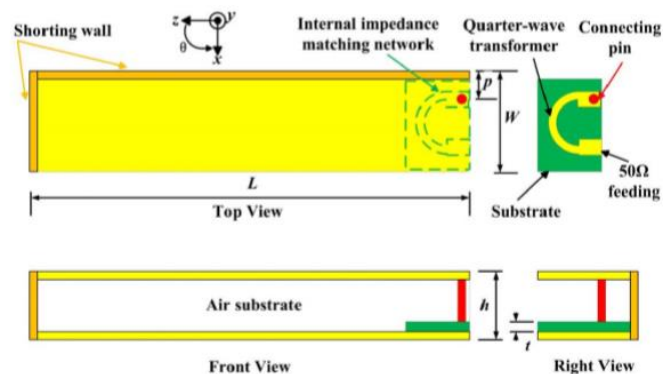


Figura 12. Geometria de l'antena microstrip monopòl proposada a l'article

L'antena magnètica monopòl proposada proporciona una directivitat augmentada de 7,2 dB quan l'antena té una longitud d'ona d'aproximadament 3λ . També es fa un segon escenari on es dissenya una antena microstrip dipòl amb una longitud d'ona d'aproximadament 6λ i s'obté una directivitat de uns 9,7 dB.

2.2.9. Article 9: A Wideband Aperture-Coupled Microstrip Patch Antenna Employing Spaced Dielectric Cover for Enhanced Gain Performance [12]

En aquest article comença parlant dels beneficis dels mètodes que utilitzen superstrats (*covers*) per aconseguir una alta directivitat. Els resultats

que s'obtenen amb aquest tipus de pràctiques son similars als que es poden aconseguir a través de les agrupacions d'antenes. En el cas concret de l'article, s'utilitza una antena microstrip d'apertura amb una cobertura de dielèctric, tal i com es mostra a la Figura 13.

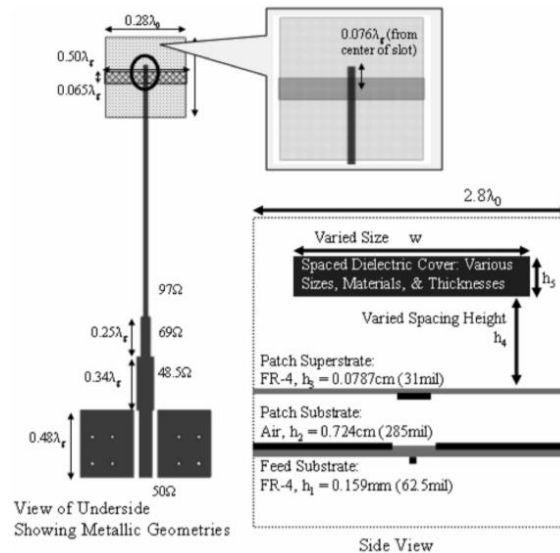


Figura 13. Geometria de l'antena microstrip CPW-fed aperture-coupled

El dielèctric (*cover*) o superstrat està a una distància h de l'antena microstrip, separat per aire, i es pot observar una millora significativa de la directivitat en algunes configuracions determinades. Es realitza un estudi paramètric dels efectes que té augmentar aquesta distància, l'àrea i el gruix del superstrat.

Com a resultat, s'obté una millora de 13,9 dB amb el disseny d'antena proposat a l'experiment.

2.2.10. Article 10: Gain Enhancement of a Microstrip Patch Antenna Using a Cylindrical Electromagnetic Crystal Substrate [13]

En aquest article es parla de la millora de rendiment d'una antena microstrip circular utilitzant un substrat EBG (*Electromagnetic Band Gap*) cilíndric. A la Figura 14 es mostra la geometria de l'antena.

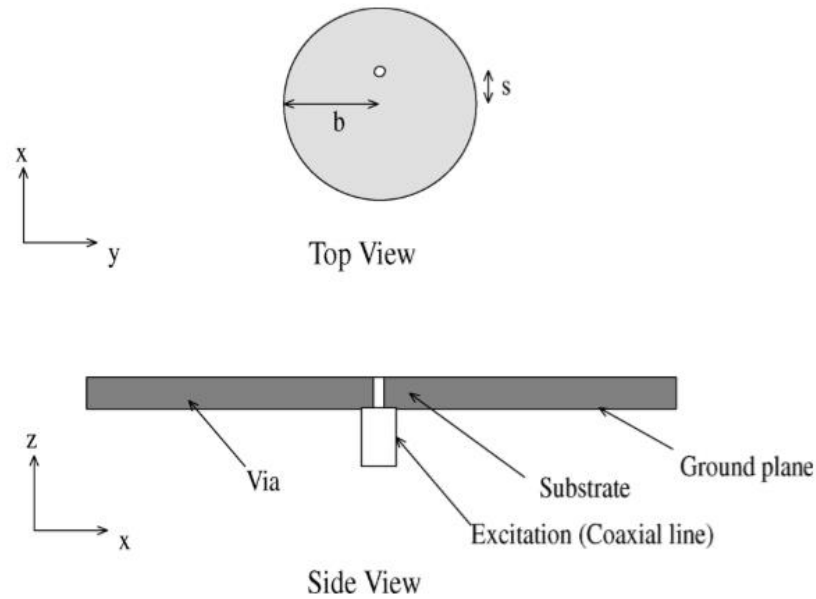


Figura 14. Geometria de l'antena microstrip circular excitada amb sonda coaxial

Com a resultats destacables, a través dels resultats dels experiments presentats a l'article, s'observa un guany de 2,9 dB.

2.2.11. Article 11: Genetic Algorithm Optimization of a High-Directivity Microstrip Patch Antenna Having a Rectangular Profile [14]

En aquest article s'estudia el rendiment d'una antena microstrip amb alta directivitat amb un perfil rectangular en comparació amb una agrupació d'antenes lineals. El disseny es realitza a través de *genetic algorithms* (GA) que fan que no sigui necessari una xarxa d'alimentació (*feeding network*). A la Figura 15 s'observen les configuracions proposades a l'article.

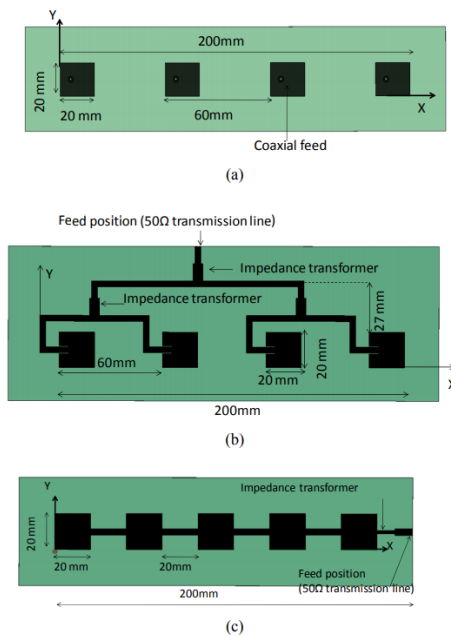


Figura 15. Configuracions de les agrupacions d'antenes: (a) Alimentació amb sonda coaxial (b) Alimentació en paral·lel (c) Alimentació en sèrie

L'antena microstrip (MPA) analitzada proporciona una directivitat similar als *arrays* lineals que utilitzen alimentacions en sèrie (*series feeding*) o paral·lel (*corporate feeding*), amb l'avantatge d'aconseguir millor ample de banda en la *genetic* MPA.

2.3 Conclusions

A través de la lectura dels diferents articles, s'han introduït algunes de les tècniques utilitzades per aconseguir una millora en les prestacions de les antenes proposades.

L'interès de l'estudi de com les dimensions de les antenes (àrea, gruix, paràmetres bàsics, tipus d'alimentació, etc.), les estructures que les envolten, i les tècniques per al seu disseny, anàlisi i implementació fan que resulti interessant aprofundir més en la experimentació.

D'aquesta manera, aplicant tècniques concretes, es poden aconseguir resultats de rendiment molt similars (alta directivitat) amb estructures molt menys complexes i més compactes.

Capítol 3

Anàlisi d'estructura amb superstrat

3. Anàlisi d'estructura amb superstrat

3.1 Introducció

En aquest capítol s'ha escollit l'article "*A novel High-Directivity Microstrip Patch Antenna Based on Zero-Index Metamaterial [6]*" com a base del nostre disseny i simulacions.

Primerament es dissenyarà l'antena microstrip únicament. Un cop dissenyada, l'objectiu principal es fer un seguit d'experiments per veure l'efecte que té incorporar una estructura determinada en quant a corrents, directivitat, diagrama de radiació i eficiència.

Finalment, es farà una comparativa i s'extrauran conclusions finals de tots els escenaris.

3.2 Disseny

Per a començar l'estudi d'aquest cas s'han calculat tots els valors necessaris per a treballar a la freqüència escollida de 3,85GHz, diferent a la freqüència que s'utilitza en l'article. A la hora de redimensionar els valors s'ha utilitzat un factor d'escala de 2,2 (8,75 GHz/3,85 GHz). Aquest factor s'ha aplicat a tots els càlculs per a dissenyar correctament les mides de les estructures de l'experiment.

La mida del pedaç per aquesta freqüència s'ha calculat amb l'equació 4.

$$L = \frac{c}{2f_o\sqrt{E_{eff}}}$$

Equació 4. Càlcul del valor de llargada del pedaç L

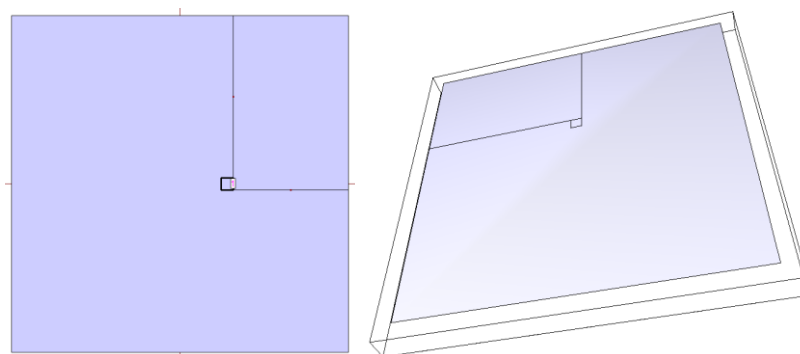


Figura 16. Estructura del pedaç en 2D i 3D en IE3D

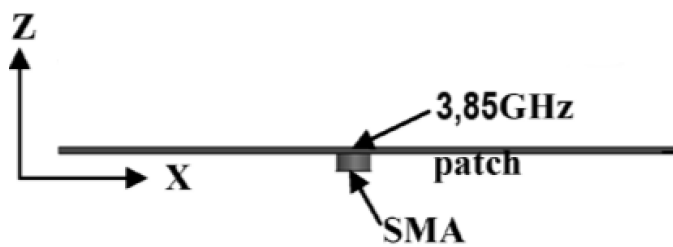


Figura 17. Disseny teòric del pedaç alimentat amb una sonda coaxial

La simulació s'ha fet amb el programa IE3D. El disseny està format per una capa de dielèctric amb un gruix de 1,52mm, amb una constant dielèctrica de valor 3,38 amb una tangent de pèrdues de 0.001. El pedaç està situat sobre aquesta capa amb unes dimensions de 20mm x 20mm i alimentat amb una sonda coaxial de 50 ohms.

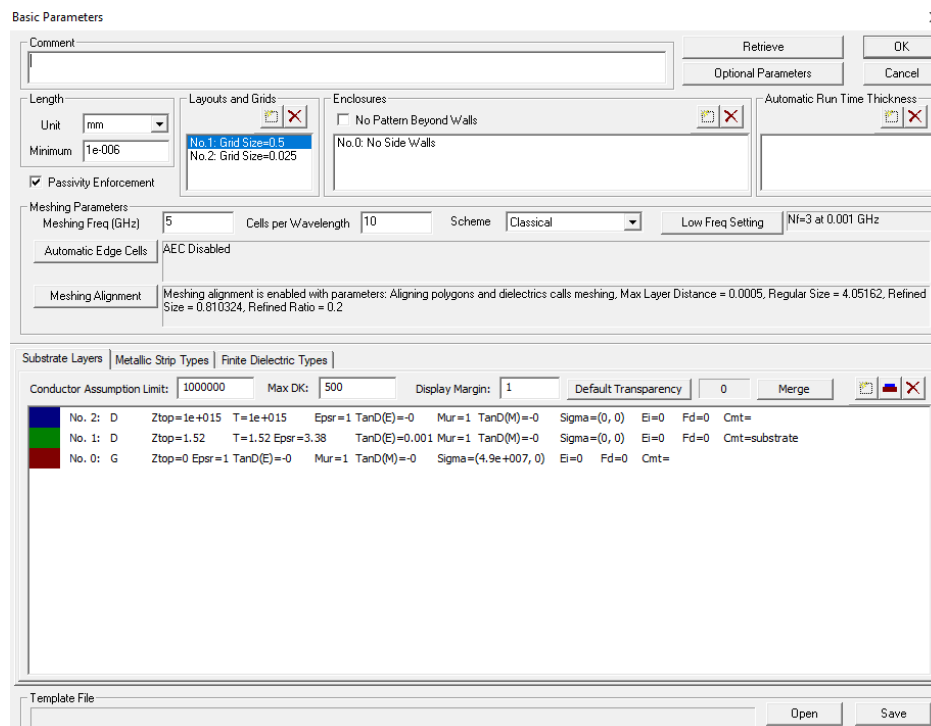


Figura 18. Paràmetres de la capa del dielèctric (substrate) en IE3D

A través de la carta de Smith es pot saber si l'estructura que hem dissenyat està ben adaptada o no (Figura 19).

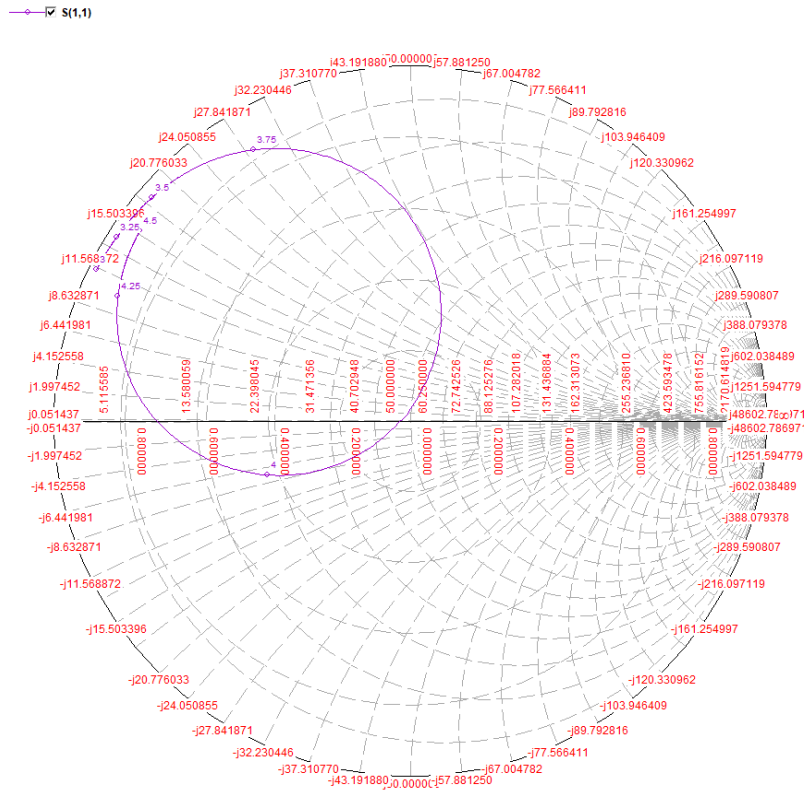


Figura 19. Carta Smith del pedaç en IE3D

El disseny de l'estructura (*layer*) s'ha fet tenint en compte el factor igual a 2,2 tant en el disseny de la cel·la amb la qual es treballarà com la distància $h=36,52$ mm que en termes de la longitud d'ona equival a 0.46λ

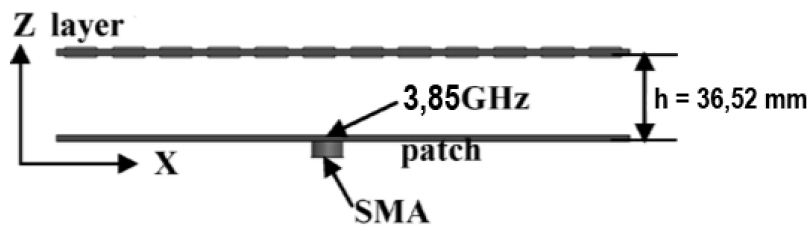


Figura 20. Estructura situada a una distància h del pedaç

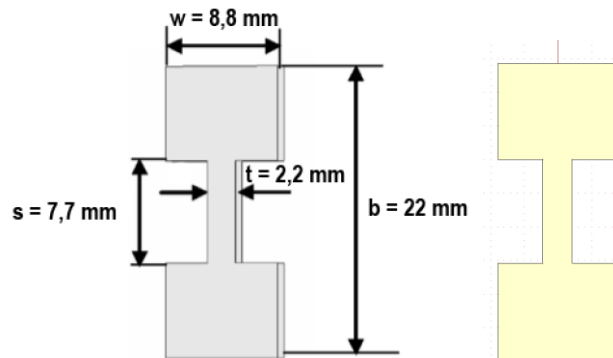


Figura 21. Disseny de la cel·la teòrica (esquerra) i simulada a IE3D (dreta)

3.3 Simulacions

Un cop s'ha definit anteriorment l'estructura que s'utilitzarà, s'han plantejat diferents escenaris on s'anirà augmentant la mida de l'àrea de l'estructura i es podrà veure quin efecte té en la directivitat del sistema entre d'altres factors.

3.3.1 Escenari 1: Pedaç

Primer de tot s'ha establert un primer escenari per a determinar quins són els valors inicials. S'ha tractat el pedaç únicament envoltat d'aire. A continuació es detallen les simulacions.

3.3.1.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la següent figura l'estructura del pedaç.

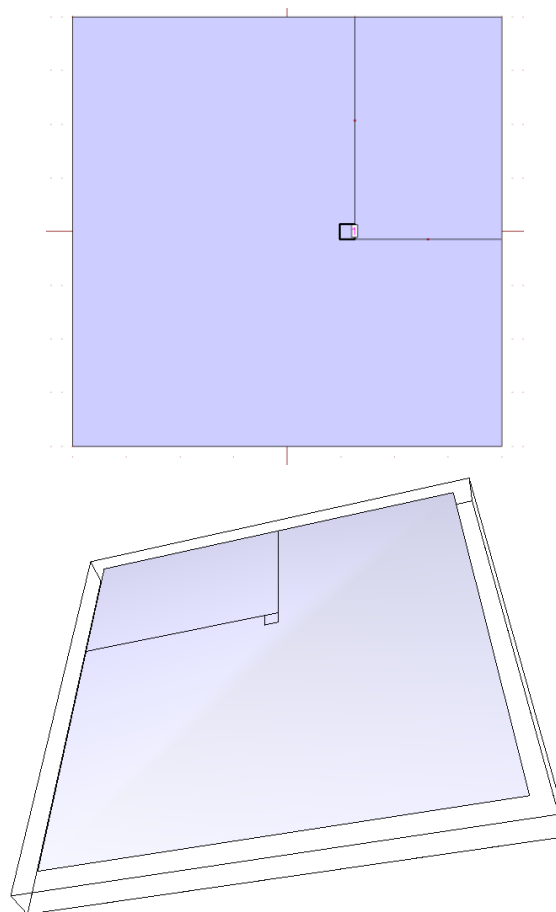


Figura 22. Estructura del pedaç en 2D i 3D en IE3D

3.3.1.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures, la cel·la del pedaç es troba completament il·luminada en aquesta freqüència. S'han fet comprovacions a altres freqüències per a comprovar que en aquests casos la cel·la no s'il·lumina tant.

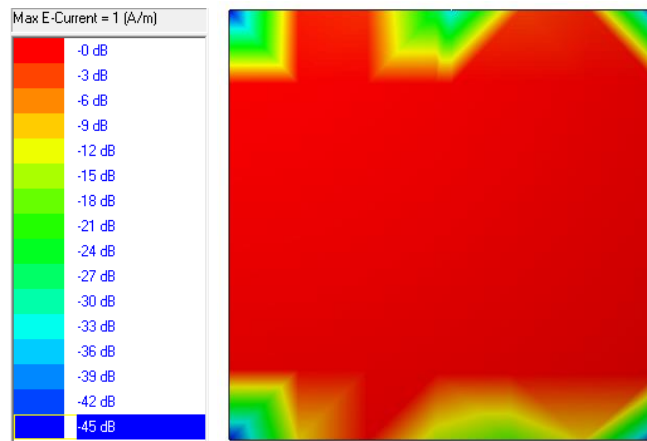


Figura 23. Corrent a 3,85 GHz del pedaç en IE3D

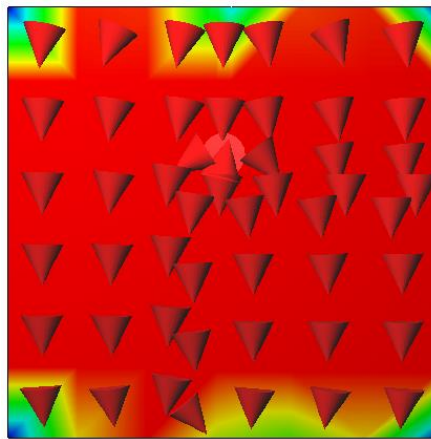


Figura 24. Corrent a 3,85 GHz del pedaç en IE3D operant en el seu mode fonamental

3.3.1.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 25 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 7 dB per al rang de freqüències de 3,7GHz fins a 4,2GHz.

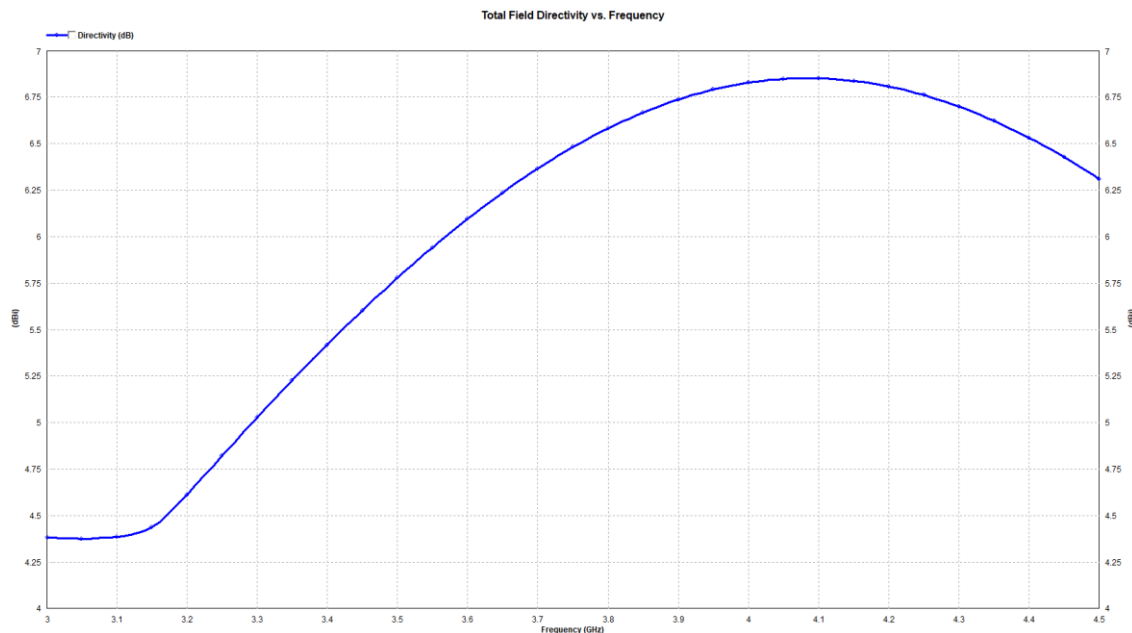


Figura 25. Directivitat del pedaç en IE3D

3.3.1.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació és ample i molt poc directiu tret característic d'una antena microstrip operant en el seu mode fonamental.

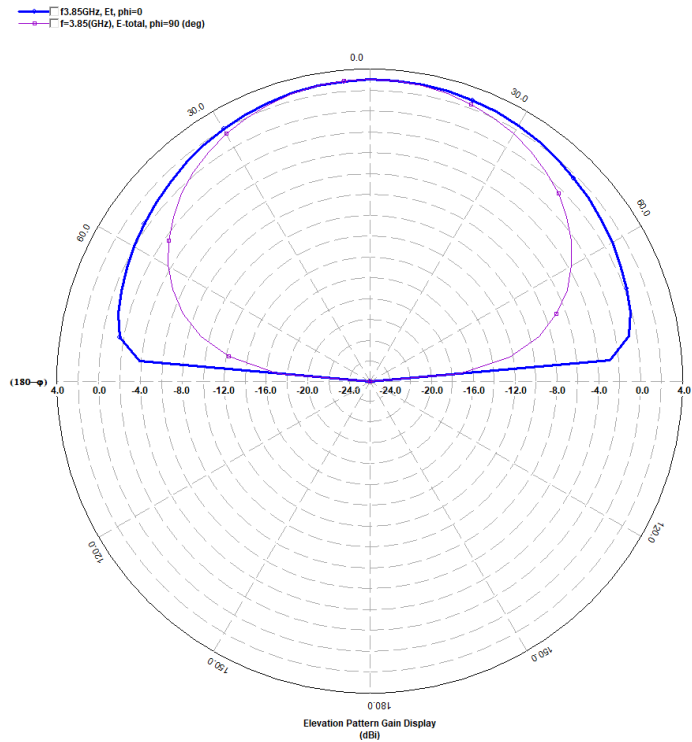


Figura 26. Diagrama de radiació a 3,85 GHz del pedaç en IE3D

3.3.1.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació (Figura 27). S'observa que l'eficiència d'antena és del 80% per a la freqüència de 3,95 GHz aproximadament que és on l'antena està ben adaptada.

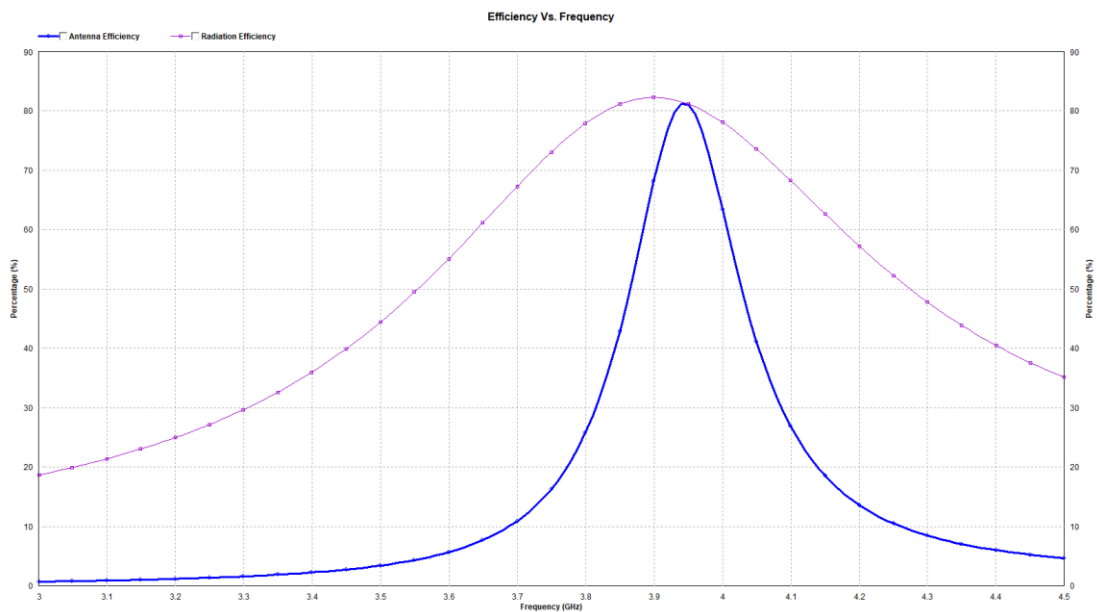


Figura 27. Eficiència d'antena i de radiació del pedaç en IE3D

3.3.2 Escenari 2: Estructura amb àrea de 44mm x 39,6mm

En aquest escenari es tracta el pedaç conjuntament amb una estructura de mida 44mm x 39,6mm dissenyada a través de la unió de la cel·la mencionada anteriorment i respectant la mateixa mida. S'ha tractat el pedaç envoltat d'aire a més de un substrat on es troba l'estructura a la distància de $h=36,52$.

El dielèctric amb un gruix de 0,787mm, amb una constant dielèctrica de valor 2,2. A continuació es detallen els paràmetres i les simulacions.

Substrate Layers		Metallic Strip Types		Finite Dielectric Types					
Conductor Assumption Limit: 1000000		Max DK: 500		Display Margin: 1		Default Transparency: 0		Merge	
No. 5: D	Ztop=1e+015	T=1e+015	Epsr=1 TanD(E)=0	Mur=1 TanD(M)=0	Sigma=(0, 0)	Ei=0	Fd=0	Cmt=	
No. 4: D	Ztop=72.253	T=35.733	Epsr=1 TanD(E)=0	Mur=1 TanD(M)=0	Sigma=(0, 0)	Ei=0	Fd=0	Cmt=air 2	
No. 3: D	Ztop=36.52	T=0.787	Epsr=2.2 TanD(E)=0	Mur=1 TanD(M)=0	Sigma=(0, 0)	Ei=0	Fd=0	Cmt=substrate	
No. 2: D	Ztop=35.733	T=34.213	Epsr=1 TanD(E)=0	Mur=1 TanD(M)=0	Sigma=(0, 0)	Ei=0	Fd=0	Cmt=air	
No. 1: D	Ztop=1.52	T=1.52	Epsr=3.38 TanD(E)=0.001	Mur=1 TanD(M)=0	Sigma=(0, 0)	Ei=0	Fd=0	Cmt=substrate	
No. 0: G	Ztop=0	Epsr=1 TanD(E)=0	Mur=1 TanD(M)=0	Sigma=(4.9e+007, 0)	Ei=0	Fd=0	Cmt=		

Figura 28. Disseny de la capa de dielèctric en IE3D

3.3.2.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la Figura 29 el pedaç amb l'estructura amb àrea 44mm x 39,6mm.

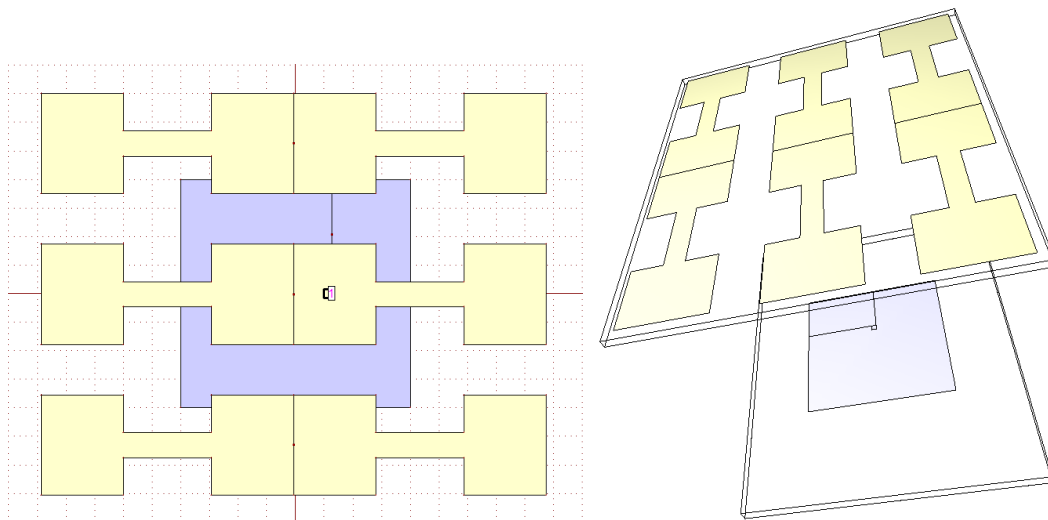


Figura 29. Estructura amb àrea 44mm x 39,6mm en 2D i 3D en IE3D

3.3.2.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures (citar quines), la major part de les cel·les es troben il·luminades. S'observa com pràcticament tota la superfície de l'estructura dissenyada es troba suficientment radiada.

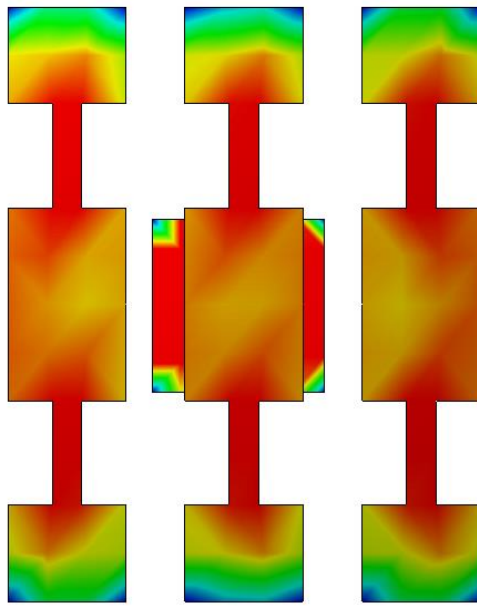


Figura 30. Corrent a 3,85 GHz de l'estructura amb àrea 44mm x 39,6mm en IE3D

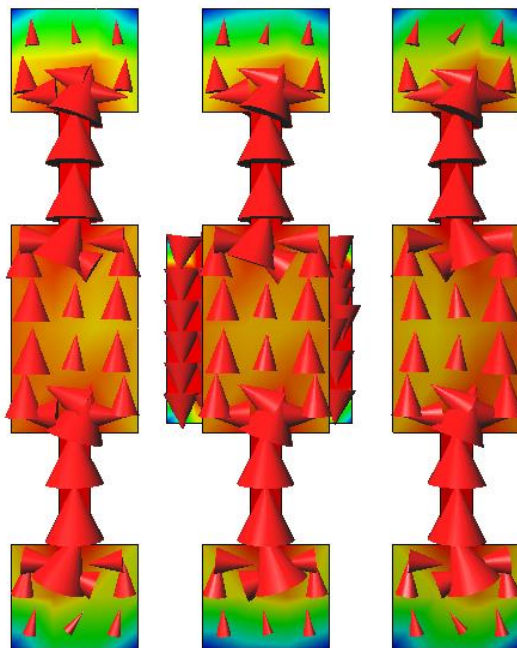


Figura 31. Corrent a 3,85 GHz de l'estructura amb àrea 44mm x 39,6mm en IE3D

3.3.2.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 32 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 7 dB per al rang de freqüències de 3,8GHz fins a 4GHz.

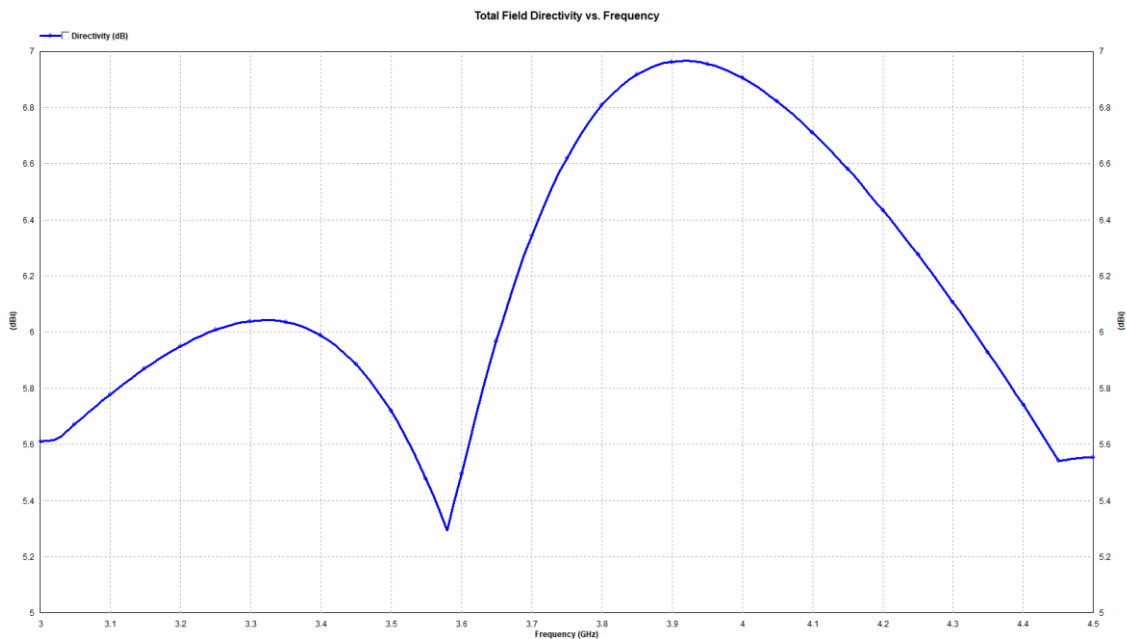


Figura 32. Directivitat de l'estructura amb àrea 44mm x 39,6mm en IE3D

3.3.2.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació continua sent ample en comparació a l'escenari anterior on només intervenia el pedaç i tot i que comença a ser una mica més directiu, encara és poc directiu.



Figura 33. Diagrama de radiació de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 44mm x 39,6mm en IE3D

3.3.2.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació. S'observa que l'eficiència d'antena és del 75% per a la freqüència de 3,92 GHz aproximadament.

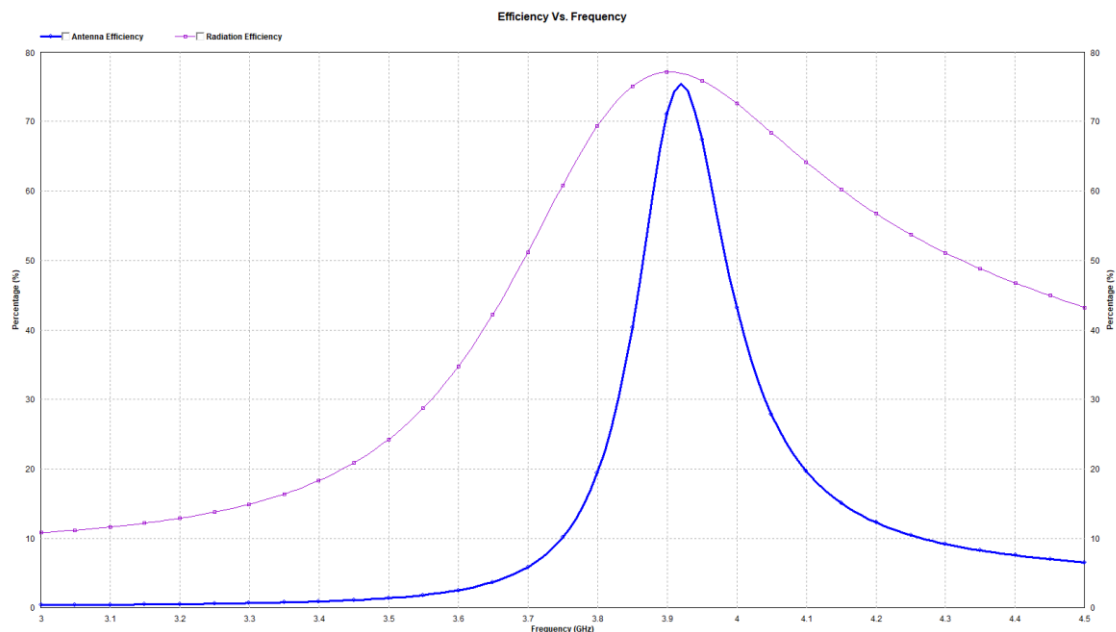


Figura 34. Eficiència d'antena i de radiació de l'estructura amb àrea 44mm x 39,6mm en IE3D

3.3.3 Escenari 3: Estructura amb àrea de 66mm x 66mm

En aquest escenari es continua augmentant la mida de l'estructura. Es tracta el pedaç conjuntament amb una estructura de mida 66mm x 66mm dissenyada a través de la unió de la cel·la mencionada anteriorment i respectant la mateixa mida. S'ha tractat el pedaç envoltat d'aire a més de un substrat on es troba l'estructura a la distància de $h=36,52$.

El dielèctric amb un gruix de 0,787mm, amb una constant dielèctrica de valor 2,2. A continuació es detallen els paràmetres i les simulacions.

3.3.3.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la següent figura el pedaç amb l'estructura amb àrea 66mm x 66mm.

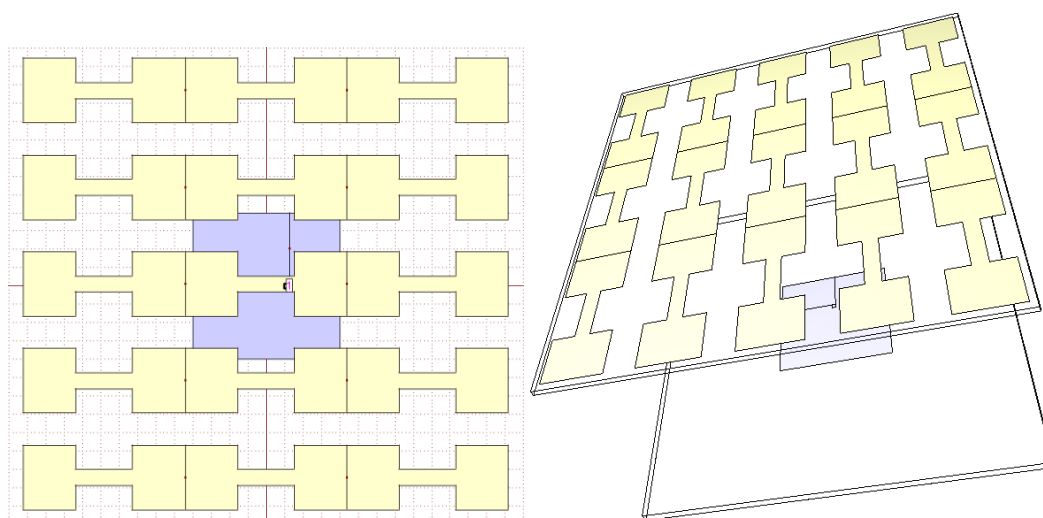


Figura 35. Estructura amb àrea 66mm x 66mm en 2D i 3D en IE3D

3.3.3.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures, la major part de les cel·les es troben il·luminades. S'observa com pràcticament tota la superfície de l'estructura dissenyada es troba suficientment radiada. Es

comença a apreciar cap als extrems de l'estructura que les puntes no estan tan radiades.

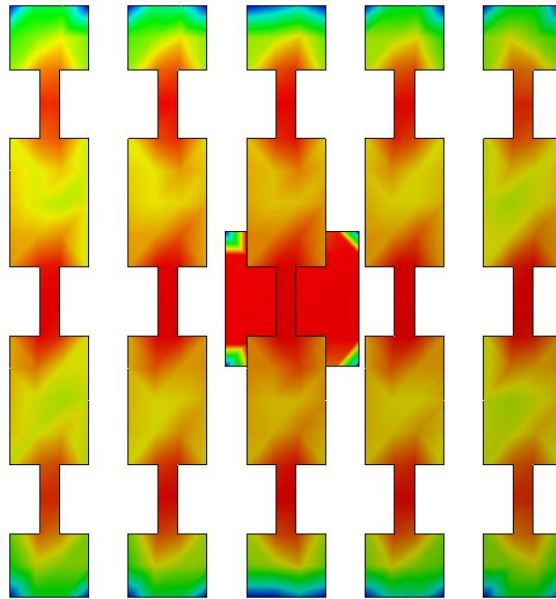


Figura 36. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 66mm x 66mm en IE3D

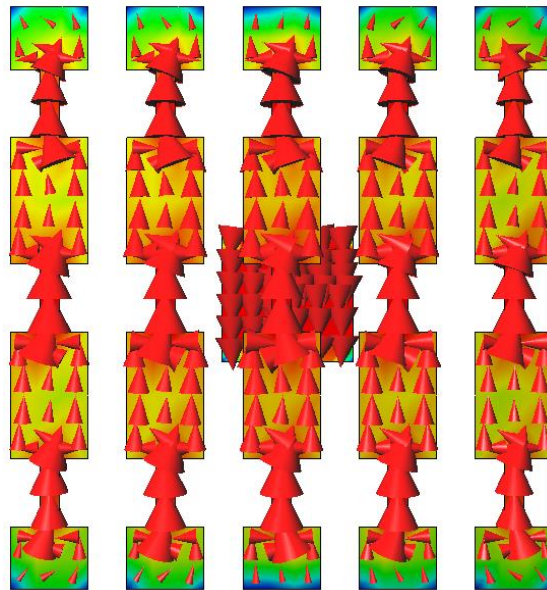


Figura 37. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 66mm x 66mm en IE3D

3.3.3.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 38 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 7 dB per a la freqüència de 3,4GHz aproximadament.

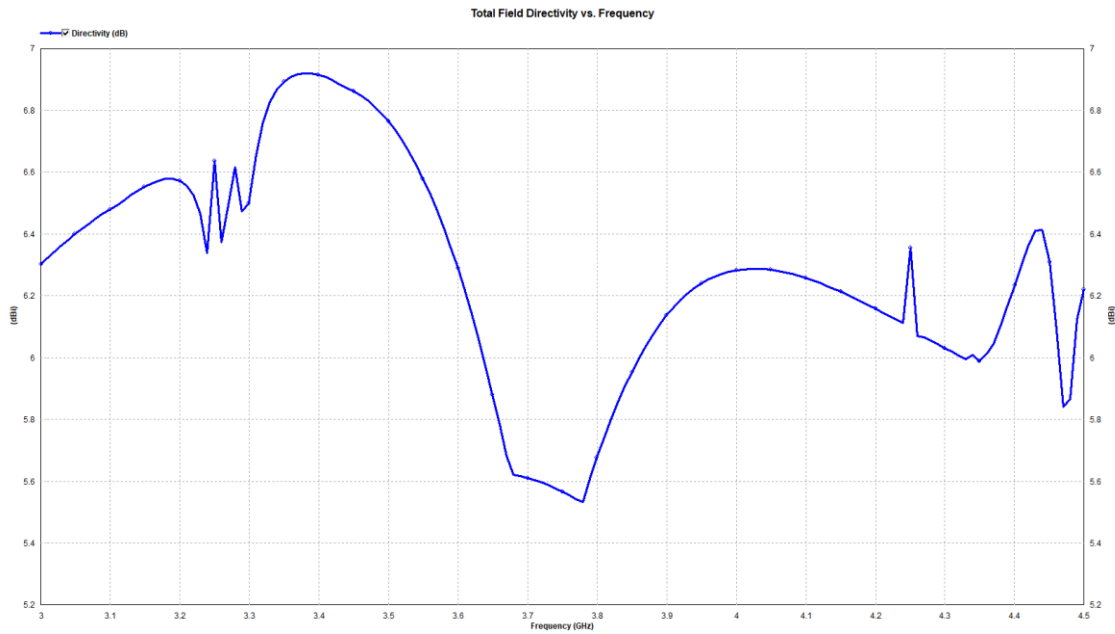


Figura 38. Directivitat de l'estructura amb àrea 66mm x 66mm en IE3D

3.3.3.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació continua sent ample en comparació a l'escenari anterior i tot i que comença a ser una mica més directiu, encara és poc directiu.

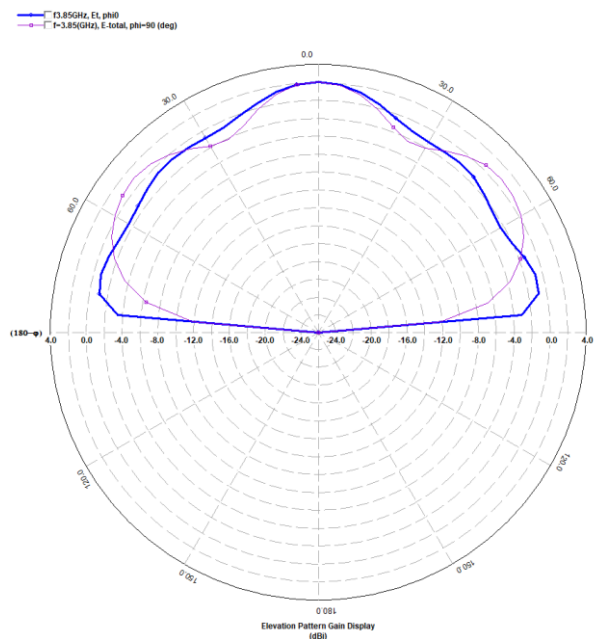


Figura 39. Diagrama de radiació de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 66mm x 66mm en IE3D

3.3.3.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació. S'observa que l'eficiència d'antena és del 70% per a la freqüència de 3,90 GHz aproximadament.

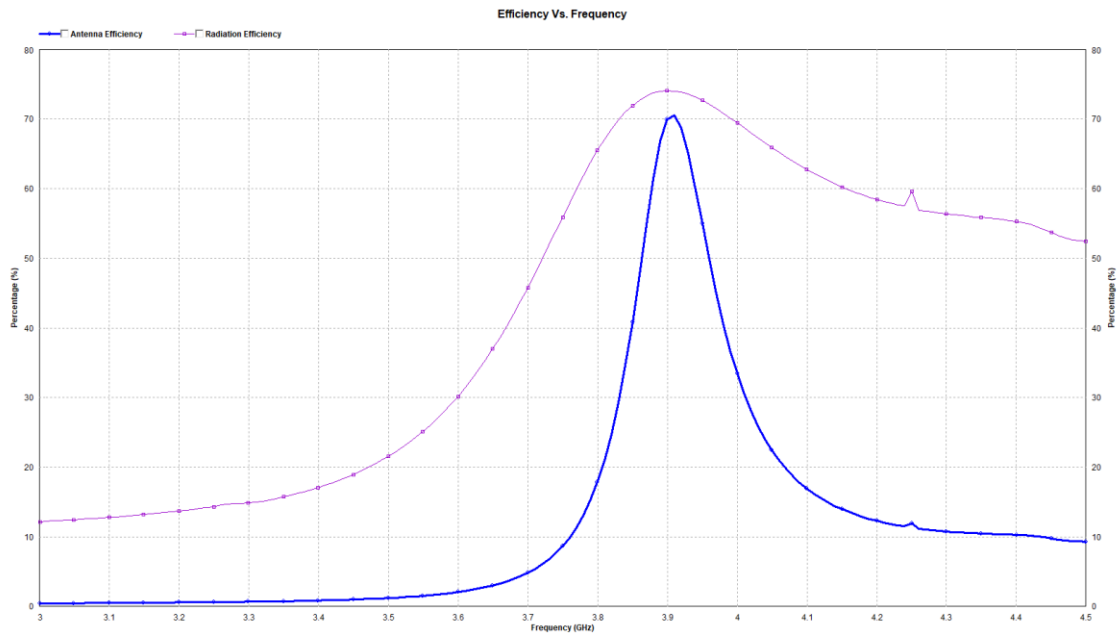


Figura 40. Eficiència d'antena i de radiació de l'estructura amb àrea 66mm x 66mm en IE3D

3.3.4 Escenari 4: Estructura amb àrea de 158,4mm x 150mm

En aquest escenari es continua augmentant la mida de l'estructura, passem al doble que en l'escenari anterior. Es tracta el pedaç conjuntament amb una estructura de mida 158,4mm x 150mm dissenyada a través de la unió de la cel·la mencionada anteriorment i respectant la mateixa mida. S'ha tractat el pedaç envoltat d'aire a més de un substrat on es troba l'estructura a la distància de $h=36,52$.

El dielèctric amb un gruix de 0,787mm, amb una constant dielèctrica de valor 2,2. A continuació es detallen els paràmetres i les simulacions.

3.3.4.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la següent figura el pedaç amb l'estructura amb àrea 158,4mm x 150mm.

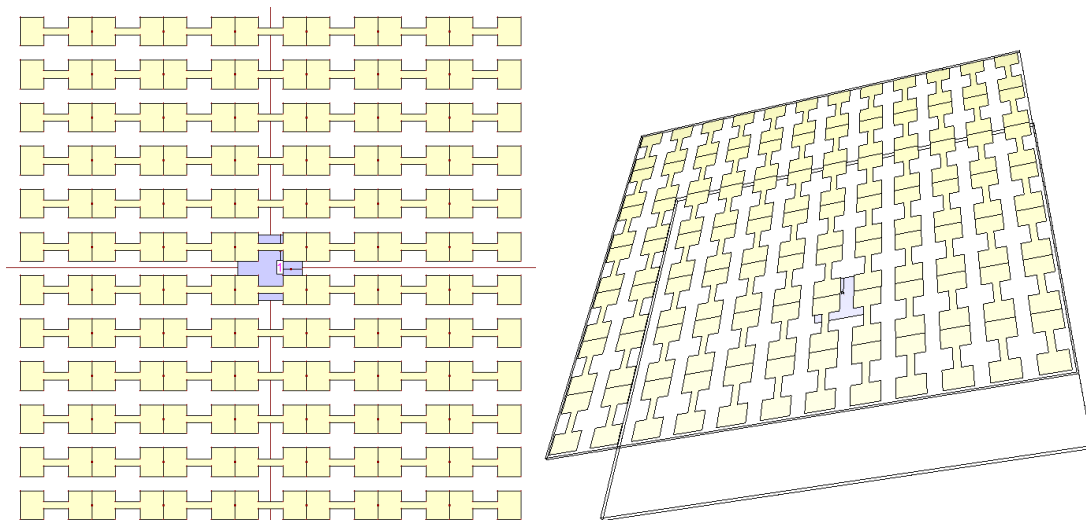


Figura 41. Estructura amb àrea 158,4mm x 150mm en 2D i 3D en IE3D

3.3.4.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures, la major part de les cel·les es troben il·luminades. Tot i a estar il·luminades, es comença a veure que a la major part de l'estructura la intensitat de radiació disminueix i per tant la major part de l'estructura no es troba tant radiada.

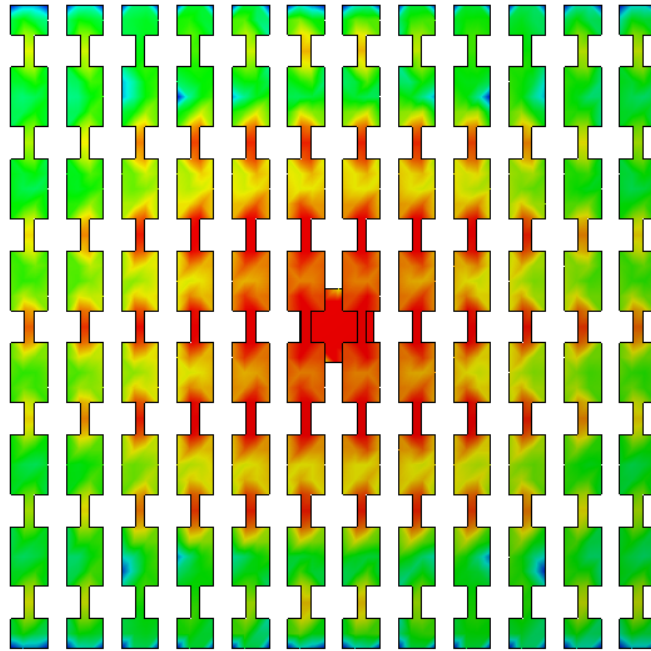


Figura 42. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 158,4mm x 150mm en IE3D

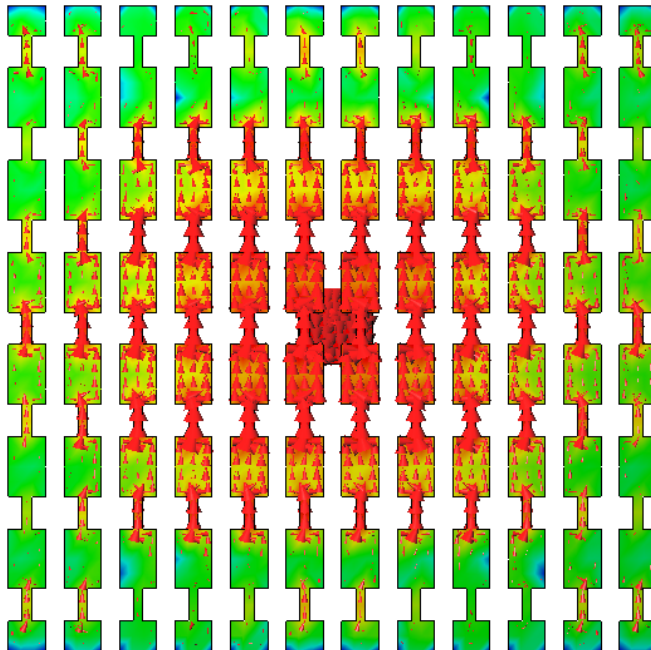


Figura 43. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 158,4mm x 150mm en IE3D

3.3.4.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 44 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 12 dB per a la freqüència de 4,5 GHz aproximadament.

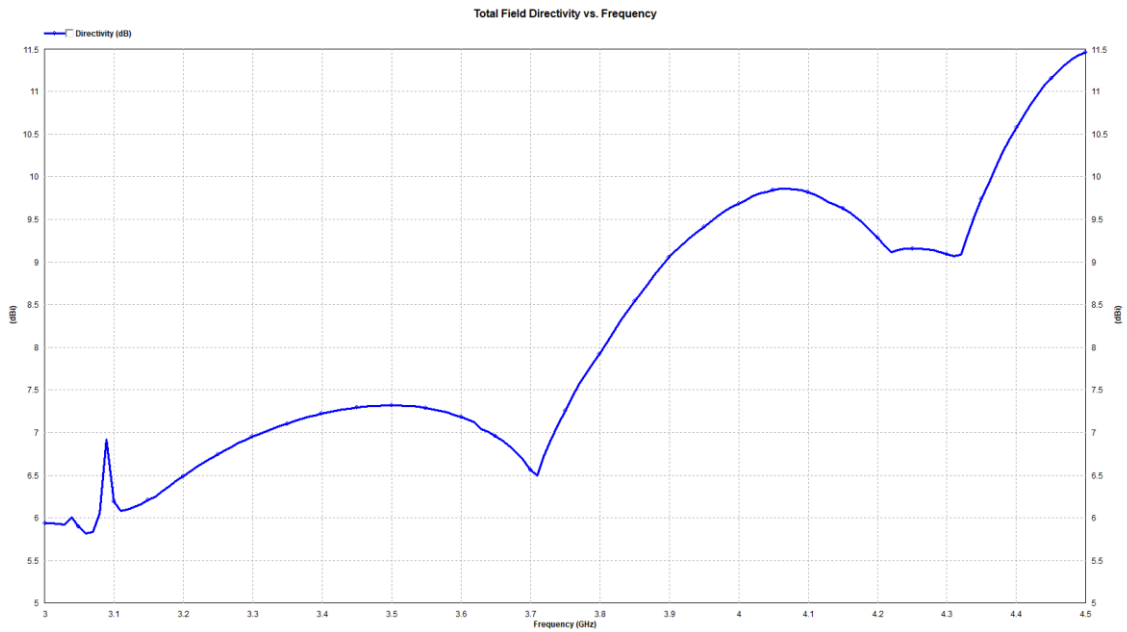


Figura 44. Directivitat de l'estructura amb àrea 158,4mm x 150mm en IE3D

3.3.4.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació continua sent ample en comparació a l'escenari anterior. El feix a la freqüència de 3,85 GHz es poc directiu, però comencen a aparèixer o a diferenciar-se lòbuls laterals.

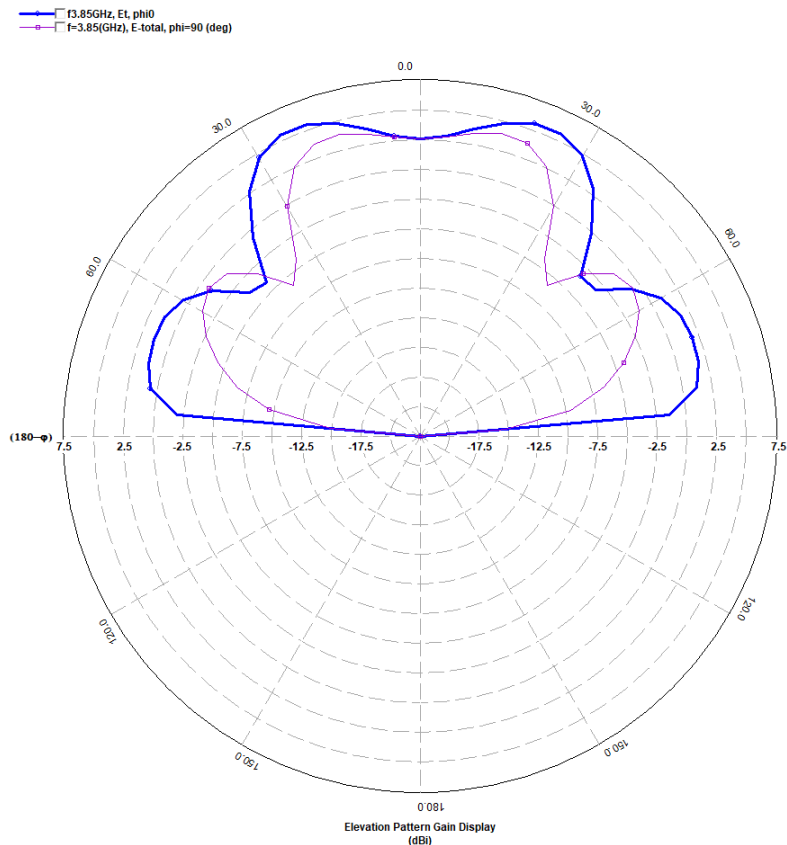


Figura 45. Diagrama de radiació de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 158,4mm x 150mm en IE3D

3.3.4.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació. S'observa que l'eficiència d'antena és del 70% per a la freqüència de 3,87 GHz aproximadament.

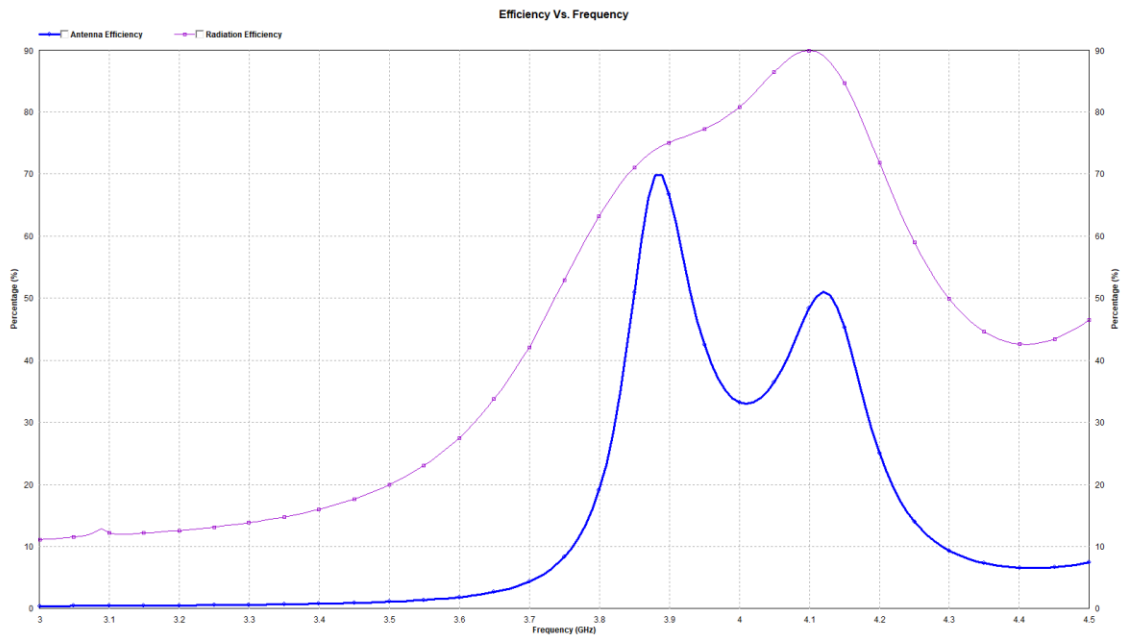


Figura 46. Eficiència d'antena i de radiació de l'estructura amb àrea 158,4mm x 150mm en IE3D

3.3.5 Escenari 5: Estructura amb àrea de 242mm x 237,6mm

En aquest escenari es continua augmentant la mida de l'estructura. Es tracta el pedaç conjuntament amb una estructura de mida 242mm x 237,6mm dissenyada a través de la unió de la cel·la mencionada anteriorment i respectant la mateixa mida. S'ha tractat el pedaç envoltat d'aire a més de un substrat on es troba l'estructura a la distància de $h=36,52$.

El dielèctric amb un gruix de 0,787mm, amb una constant dielèctrica de valor 2,2. A continuació es detallen els paràmetres i les simulacions.

3.3.5.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la següent figura el pedaç amb l'estructura amb àrea 242mm x 237,6mm.

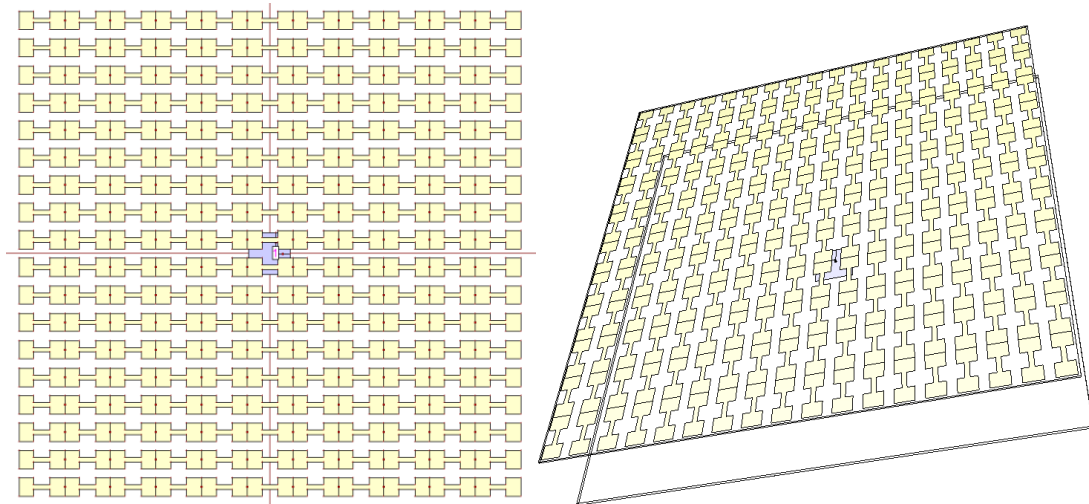


Figura 47. Estructura amb àrea 242mm x 237,6mm en 2D i 3D en IE3D

3.3.5.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures, la major part de les cel·les es troben il·luminades però es perd intensitat de radiació (cel·les que es troben fora del cercle vermell).

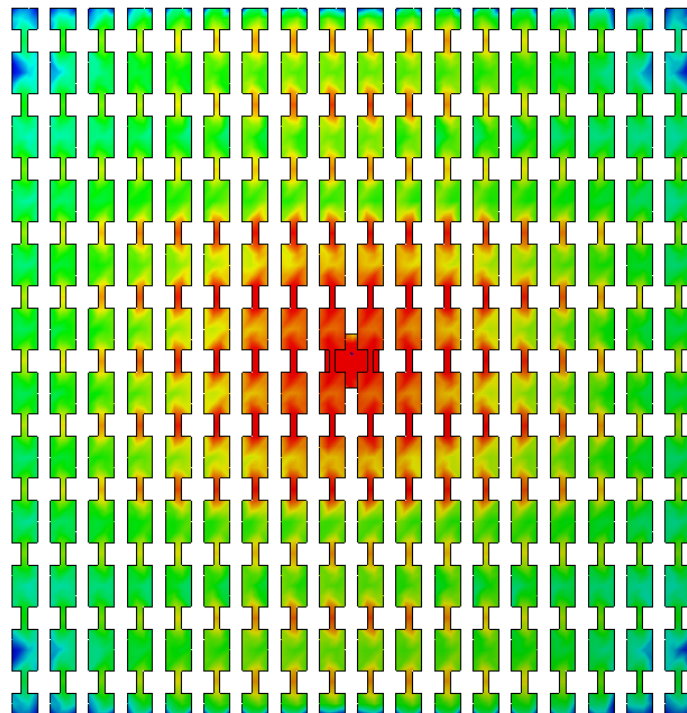


Figura 48. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 242mm x 237,6mm en IE3D

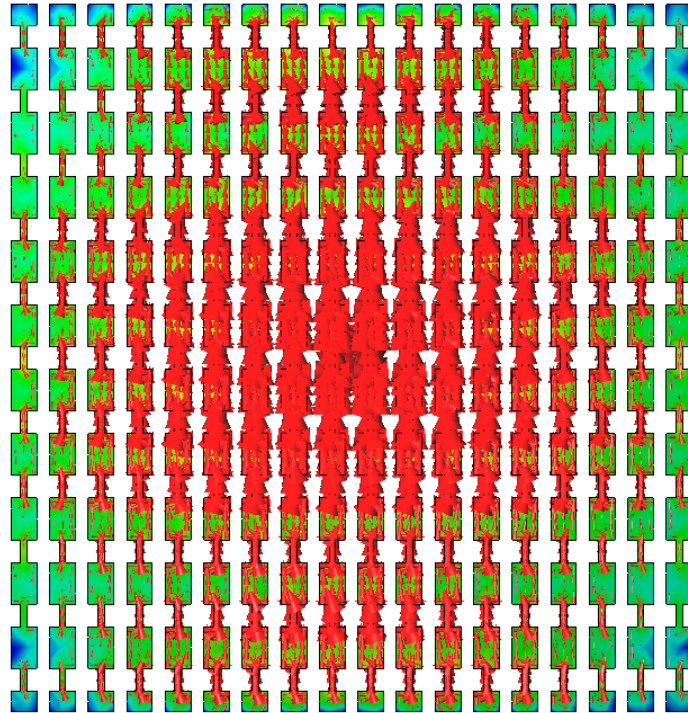


Figura 49. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 242mm x 237,6mm en IE3D

3.3.5.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 50 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 15 dB per a la freqüència de 3,92 GHz aproximadament.

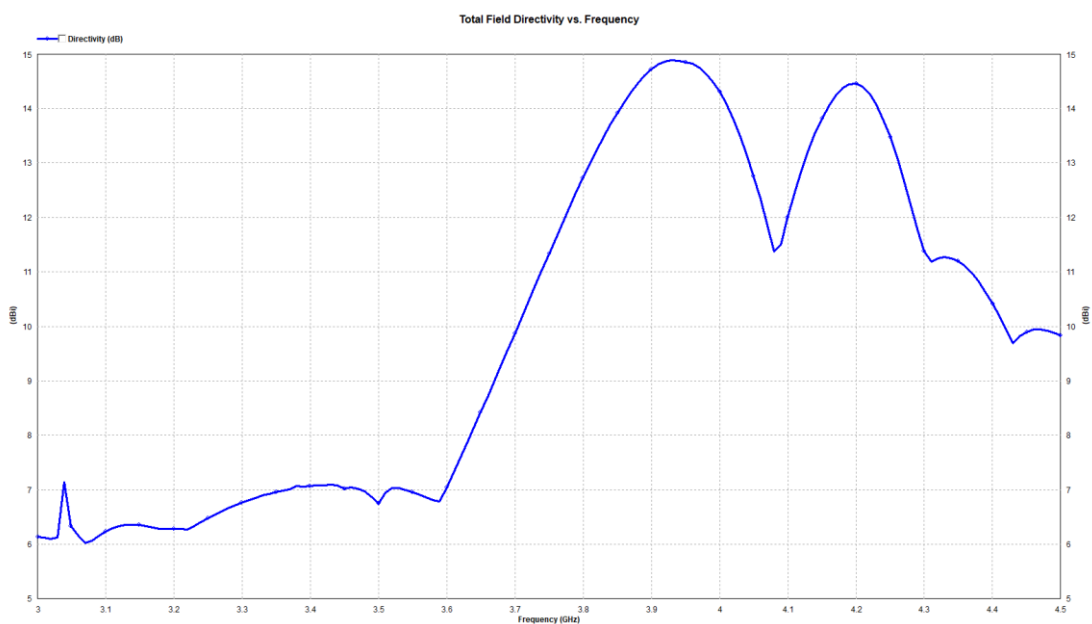


Figura 50. Directivitat de l'estructura amb àrea 242mm x 237,6mm en IE3D

3.3.5.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació continua sent ample en comparació a l'escenari anterior. El feix a la freqüència de 3,85 GHz es directiu en comparació a tots els escenaris anteriors.

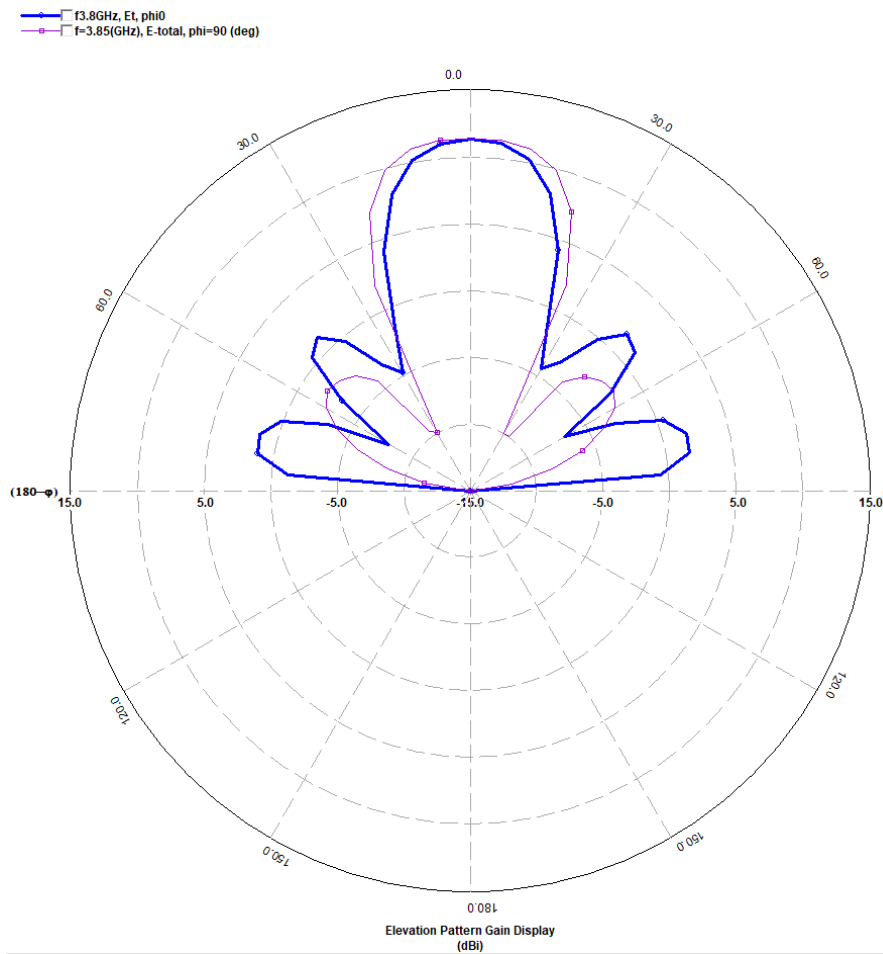


Figura 51. Diagrama de radiació de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 242mm x 237,6mm en IE3D

3.3.5.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació. S'observa que l'eficiència d'antena és del 75% per a la freqüència de 4 GHz aproximadament.

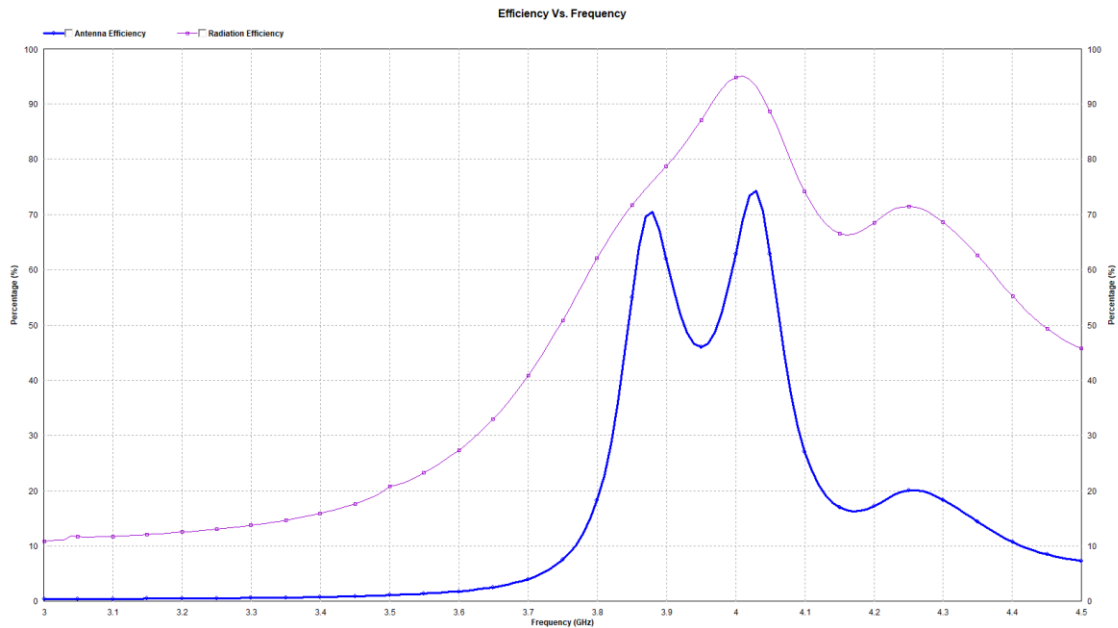


Figura 52. Eficiència d'antena i de radiació de l'estructura amb àrea 242mm x 237,6mm en IE3D

3.3.6 Escenari 6: Estructura amb àrea de 396mm x 396mm

En aquest escenari es continua augmentant la mida de l'estructura, en aquest cas el doble que en l'escenari anterior. Es tracta el pedaç conjuntament amb una estructura de mida 396mm x 396mm dissenyada a través de la unió de la cel·la mencionada anteriorment i respectant la mateixa mida. S'ha tractat el pedaç envoltat d'aire a més de un substrat on es troba l'estructura a la distància de $h=36,52$.

El dielèctric amb un gruix de 0,787mm, amb una constant dielèctrica de valor 2,2. A continuació es detallen els paràmetres i les simulacions.

3.3.6.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la següent figura el pedaç amb l'estructura amb àrea 396mm x 396mm.

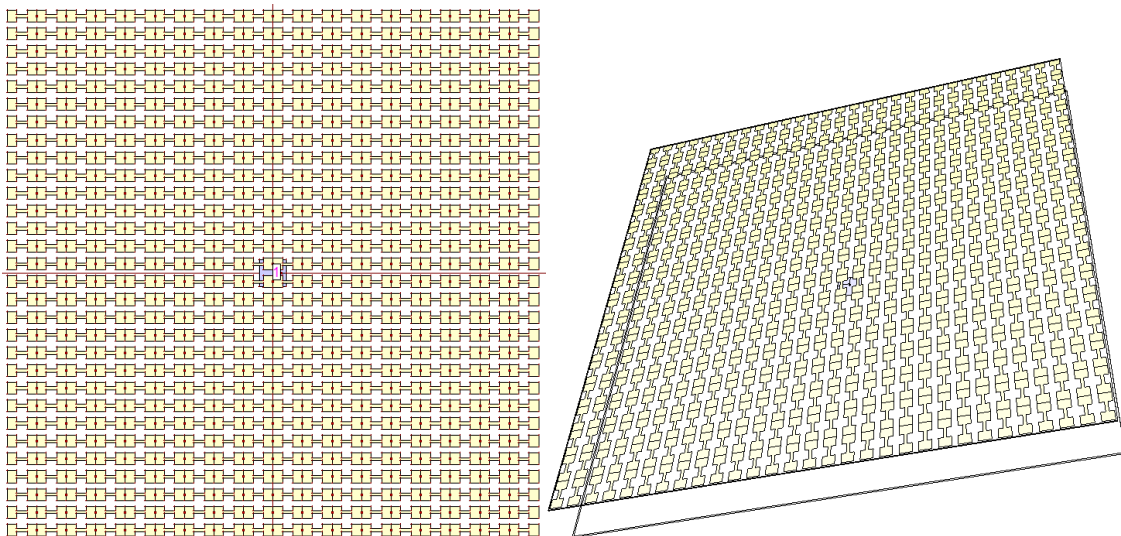


Figura 53. Estructura amb àrea 396mm x 396mm en 2D i 3D en IE3D

3.3.6.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures, la major part de les cel·les es troben il·luminades però es perd intensitat de radiació (cel·les que es troben fora del cercle vermell)..

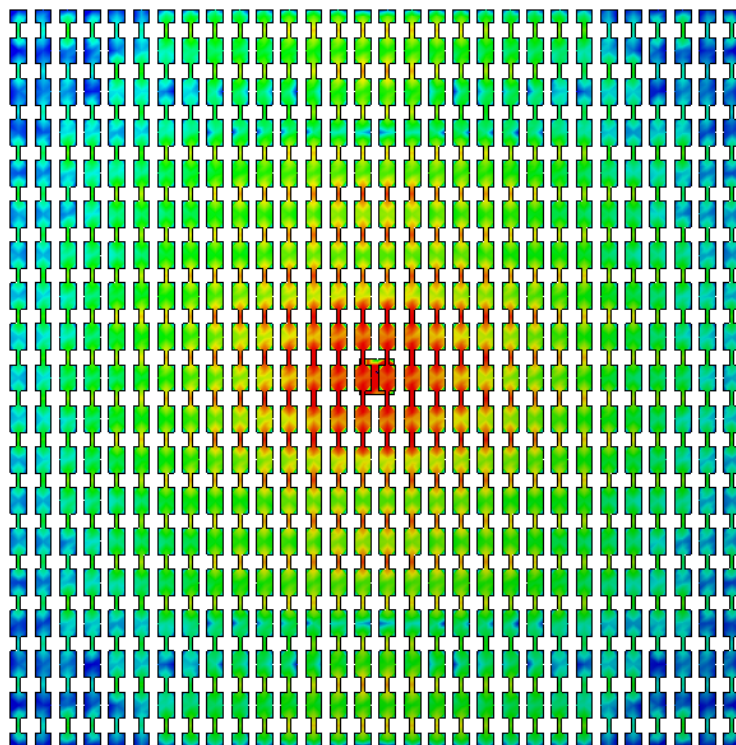


Figura 54. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 396mm x 396mm en IE3D

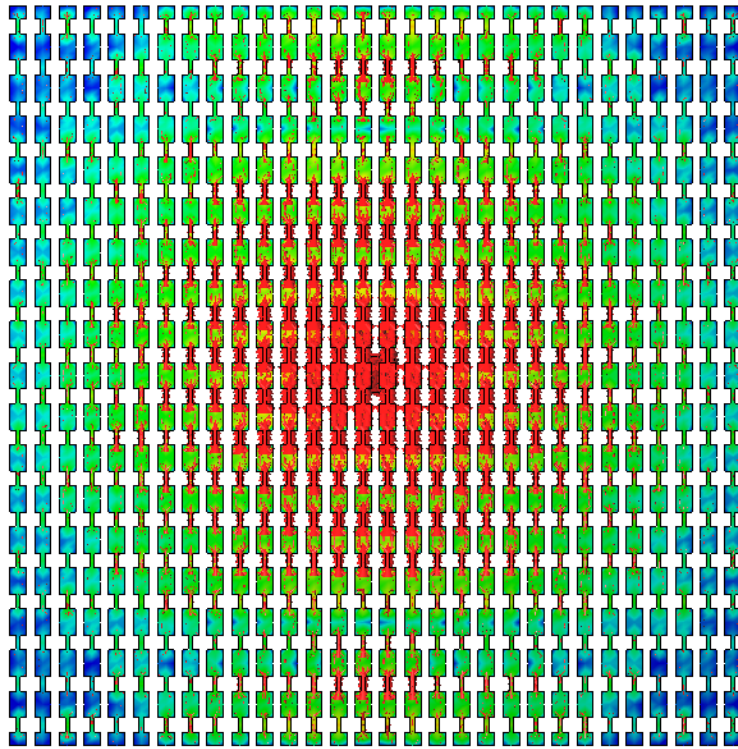


Figura 55. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 396mm x 396mm en IE3D

3.3.6.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 56 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 22 dB per a la freqüència de 3,92 GHz aproximadament.

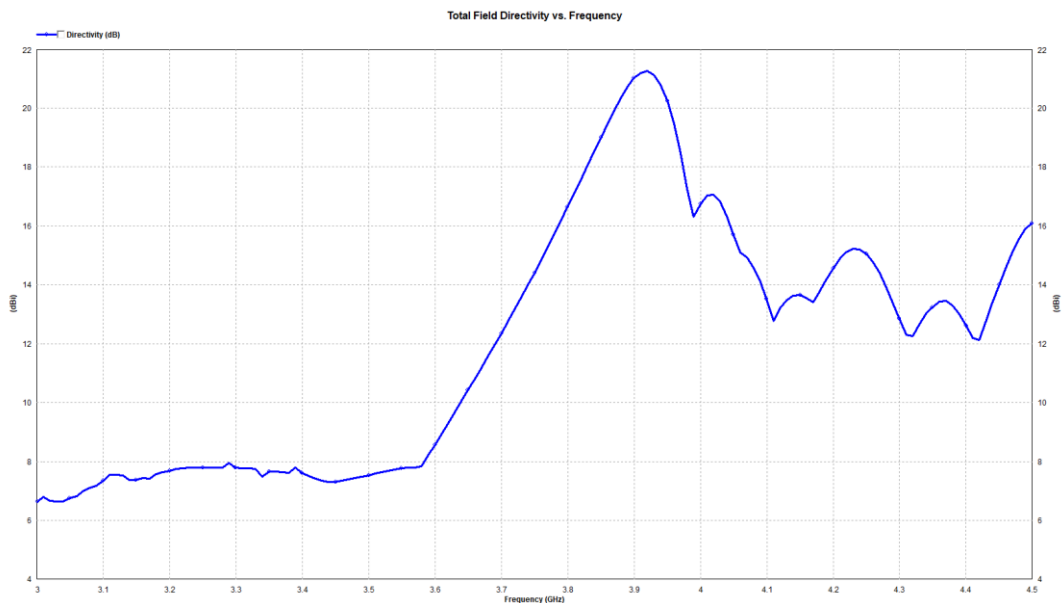


Figura 56. Directivitat de l'estructura amb àrea 396mm x 396mm en IE3D

3.3.6.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació continua sent ample en comparació a l'escenari anterior. El feix a la freqüència de 3,85 GHz es més estret i directiu en comparació a tots els escenaris anteriors.

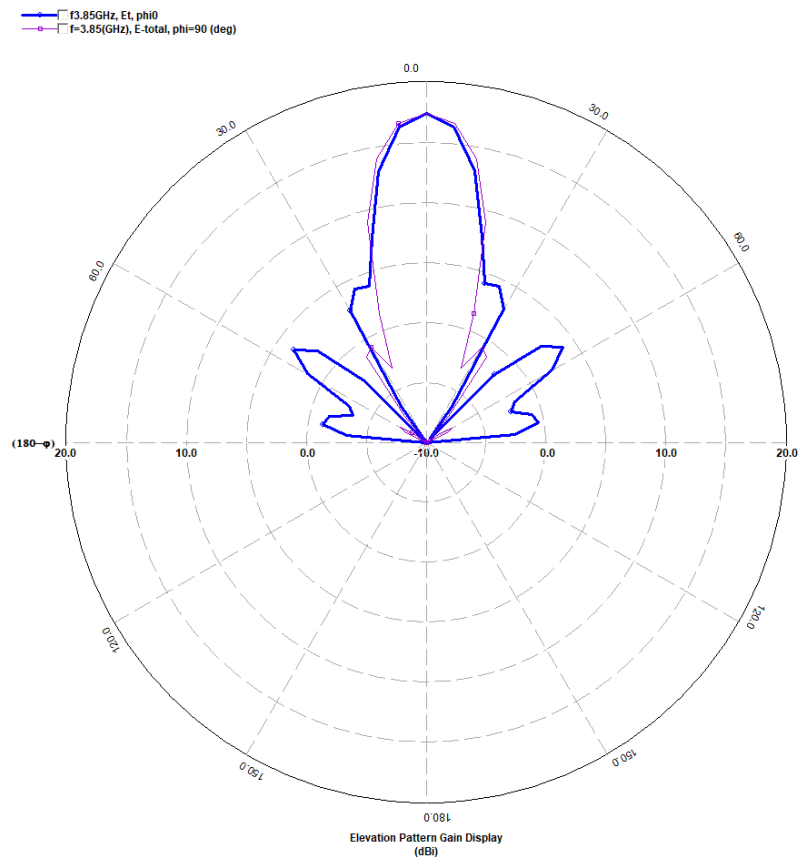


Figura 57. Diagrama de radiació de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 396mm x 396mm en IE3D

3.3.6.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació. S'observa que l'eficiència d'antena és del 84% per a la freqüència de 3,86 GHz aproximadament.

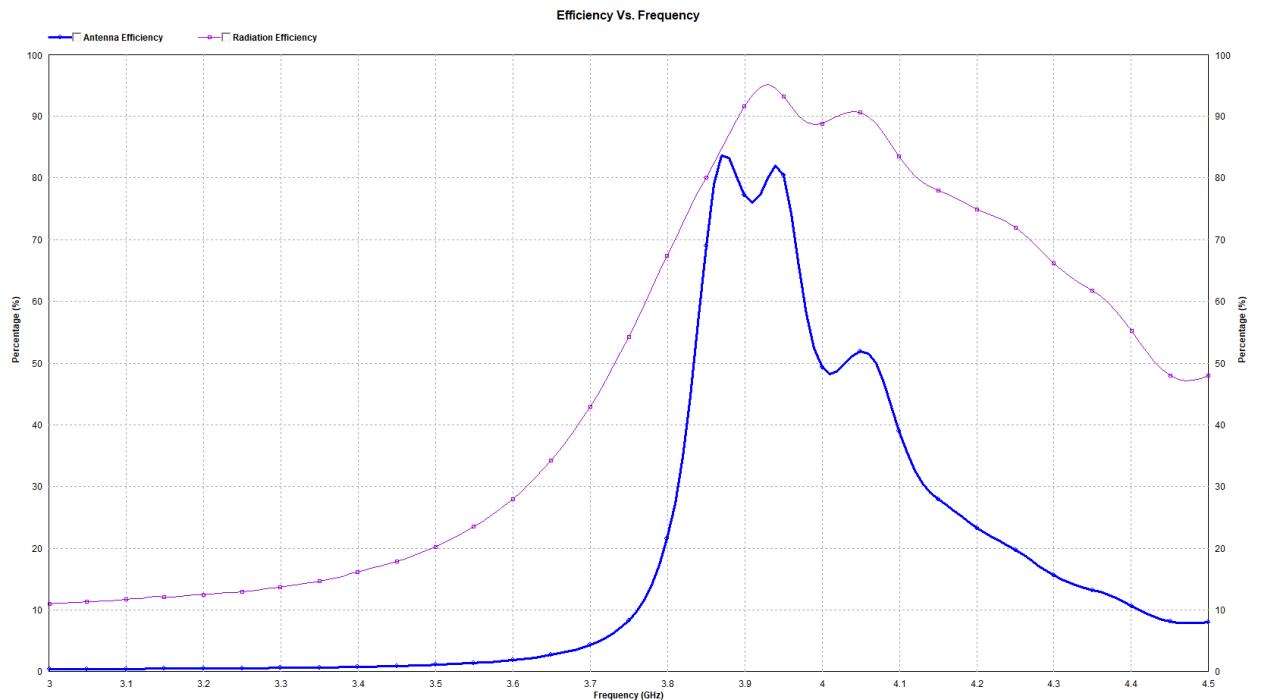


Figura 58. Eficiència d'antena i de radiació de l'estructura amb àrea 396mm x 396mm en IE3D

3.3.7 Escenari 7: Estructura amb àrea de 506mm x 528mm

En aquest escenari es continua augmentant la mida de l'estructura. Es tracta el pedaç conjuntament amb una estructura de mida 506mm x 528mm dissenyada a través de la unió de la cel·la mencionada anteriorment i respectant la mateixa mida. S'ha tractat el pedaç envoltat d'aire a més de un substrat on es troba l'estructura a la distància de $h=36,52$.

El dielèctric amb un gruix de 0,787mm, amb una constant dielèctrica de valor 2,2. A continuació es detallen els paràmetres i les simulacions.

3.3.7.1 Estructura

Un cop fet el disseny, es pot veure a la següent figura el pedaç amb l'estructura amb àrea 506mm x 528mm.

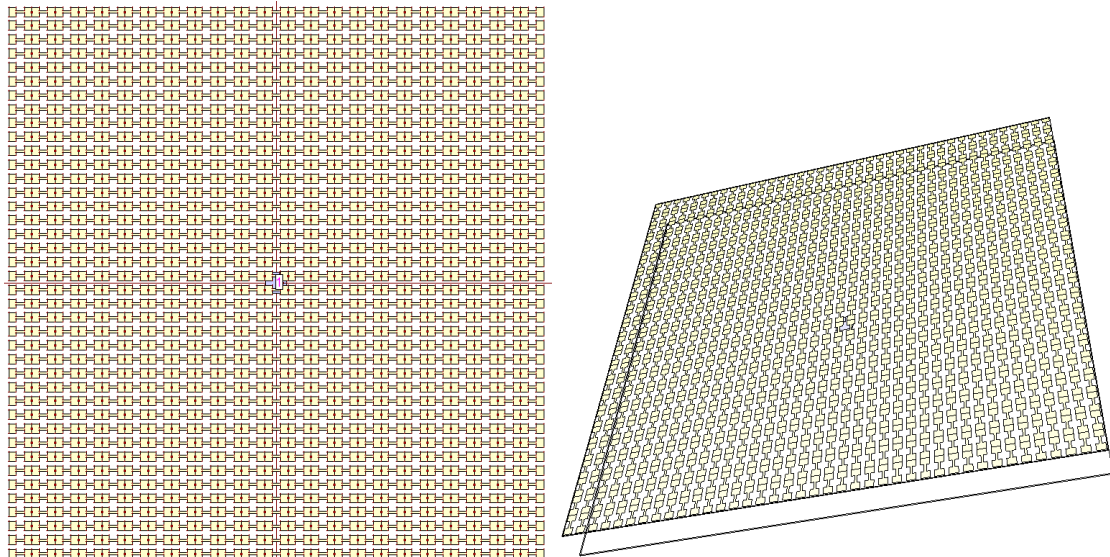


Figura 59. Estructura amb àrea 506mm x 528mm en 2D i 3D en IE3D

3.3.7.2 Corrent

A través de la càrrega de l'arxiu .cur en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure el corrent que circula per l'estructura dissenyada per a la freqüència escollida a 3,85 GHz. Com es pot observar a les següents figures, la major part de les cel·les es troben il·luminades però es perd molta intensitat de radiació (cel·les que es troben fora del cercle vermell).

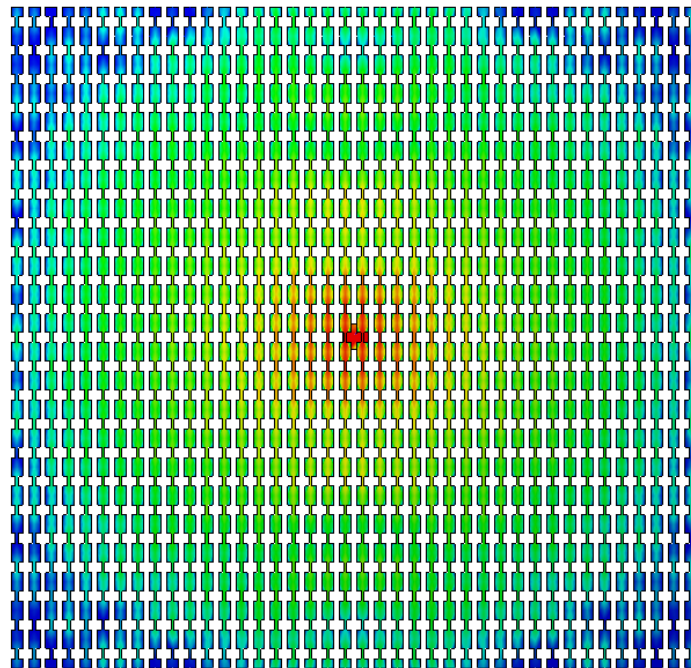


Figura 60. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 506mm x 528mm en IE3D

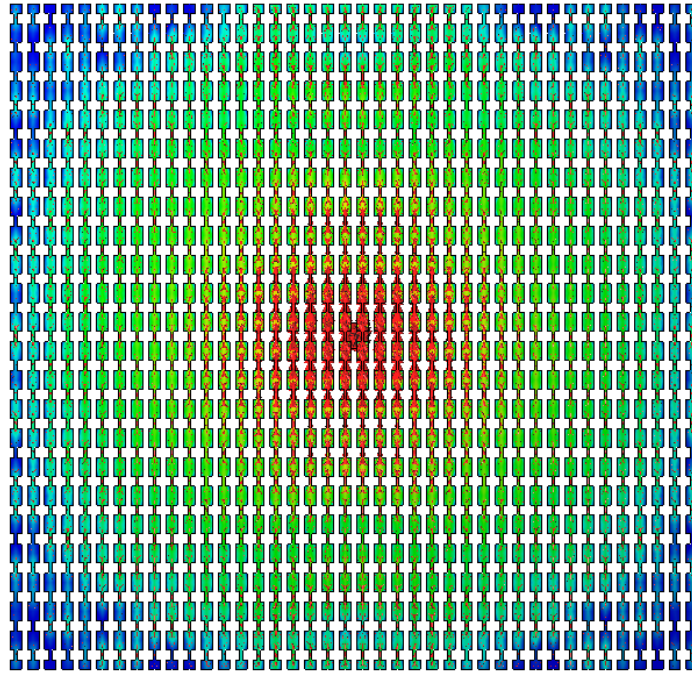


Figura 61. Corrent de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 506mm x 528mm en IE3D

3.3.7.3 Directivitat

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot veure la comparativa de directivitat per a cadascuna de les freqüències simulades.

A la Figura 62 s'observa que la directivitat arriba a valors màxims de quasi 22 dB per a la freqüència de 3,85 GHz aproximadament. La directivitat augmenta en relació a l'escenari anterior.

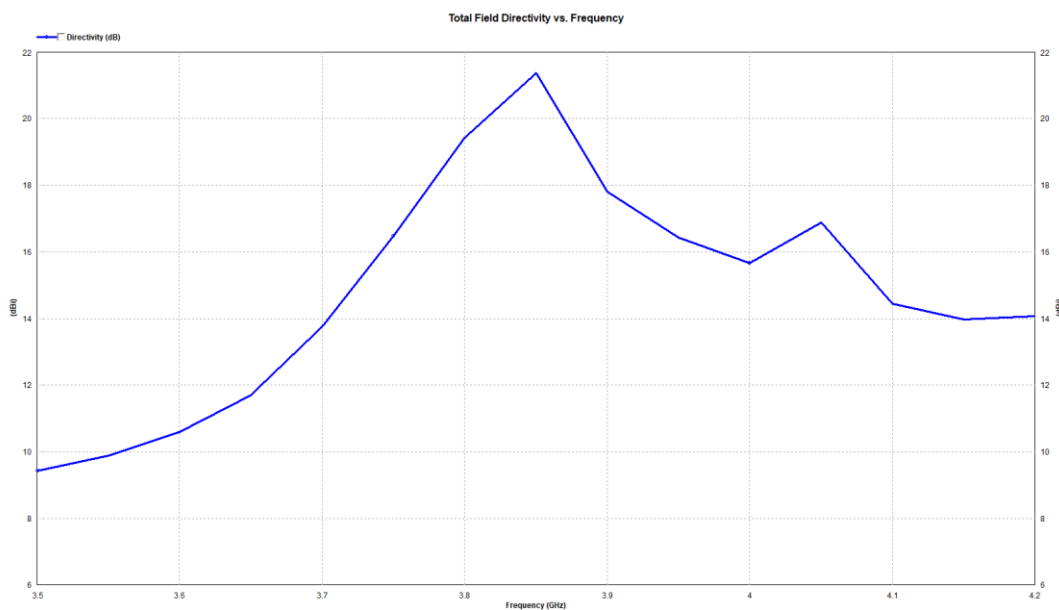


Figura 62. Directivitat de l'estructura amb àrea 506mm x 528mm en IE3D

3.3.7.4 Diagrama de radiació

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar el diagrama de radiació. S'observa que el feix de radiació continua sent ample en comparació a l'escenari anterior. El feix a la freqüència de 3,85 GHz es molt estret i molt directiu en comparació a tots els escenaris anteriors.



Figura 63. Diagrama de radiació de l'estructura a 3,85 GHz amb àrea 506mm x 528mm en IE3D

3.3.7.5 Eficiència

A través de la càrrega de l'arxiu .pat en IE3D un cop realitzada la simulació es pot observar l'eficiència d'antena i de radiació. S'observa que l'eficiència d'antena és del 90% per a la freqüència de 4 GHz aproximadament.

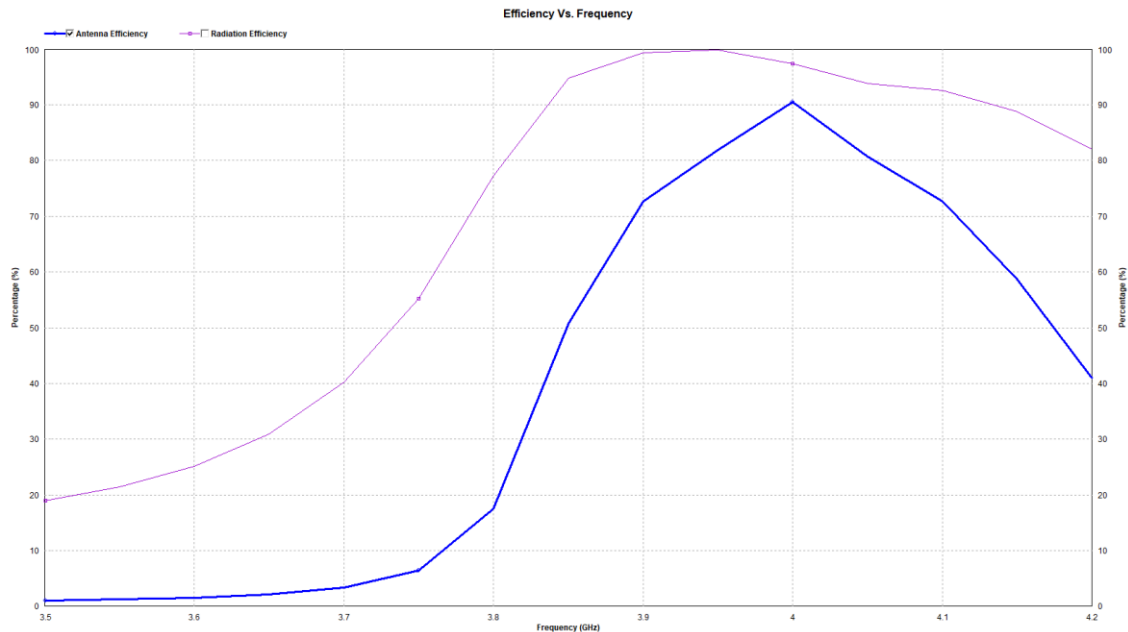


Figura 64. Eficiència d'antena i de radiació de l'estructura amb àrea 506mm x 528mm en IE3D

3.5 Conclusions

Un cop s'han realitzats tots els experiments dels diferents escenaris, on s'ha anat augmentant la mida de l'àrea de l'estructura que es troba a sobre de l'antena microstrip de la simulació, s'extreuen diferents conclusions.

Primerament, s'ha calculat la directivitat teòrica de cadascun dels escenaris treballats amb l'equació 5, on A és el valor de l'àrea, i lambda λ és igual a 0,0779m a la freqüència de 3,85 GHz.

$$D(dB) = 10 \cdot \log \left(\frac{4\pi \cdot A}{\lambda^2} \right)$$

Equació 5. Càlcul del valor de la directivitat a la freqüència de 3,85GHz

	L (mm)	W (mm)	A(m ²)	D (dB) teòrica	D (dB)	Diferència
Escenari 2	44	39,6	0,0017	5,5	6,91	-1.9
Escenari 3	66	66	0,0044	9,5	5,95	4.0
Escenari 4	158,4	154	0,0244	17,0	8,5	8.5
Escenari 5	242	237,6	0,0575	20,7	13,9	8.8
Escenari 6	396	396	0,1568	25,1	19	6.1
Escenari 7	506	528	0,2672	27,4	21,3	6.1

Taula 1. Comparació de la directivitat obtinguda en relació a la directivitat d'una obertura uniformement il·luminada [1]

A la Figura 65 s'observa la relació entre la directivitat calculada teòrica i la directivitat simulada amb el software IE3D en cadascun dels escenaris. S'observa que la directivitat simulada augmenta cada cop a mida que es va augmentat l'àrea de l'estructura. La pregunta és: si seguim augmentant l'àrea fins quan continua pujant la directivitat? Cal dir, que no s'han realitzat més simulacions degut a les limitacions tècniques del software a la hora de simular experiments amb un número de cel·les més elevat al de l'escenari 7.

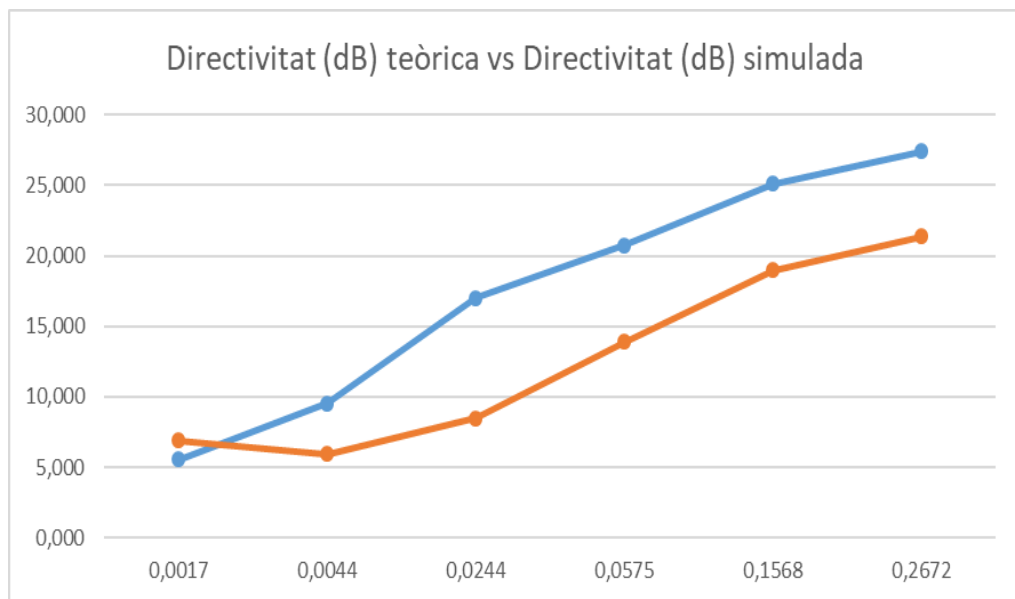


Figura 65. Gràfica comparativa de la directivitat en dB teòrica (blau) i directivitat en dB simulada (taronja)

A la Figura 66 es pot veure la comparativa dels diagrames de radiació simulats en el IE3D dels diferents escenaris tots a la freqüència de 3,85 GHz. S'extreu com a conclusió que la directivitat augmenta a mesura que s'augmenta l'àrea de l'estructura. El feix és cada cop més estret i directiu.

Per tant, es pot dir que l'estructura del superstrat millora considerablement la directivitat del pedaç.

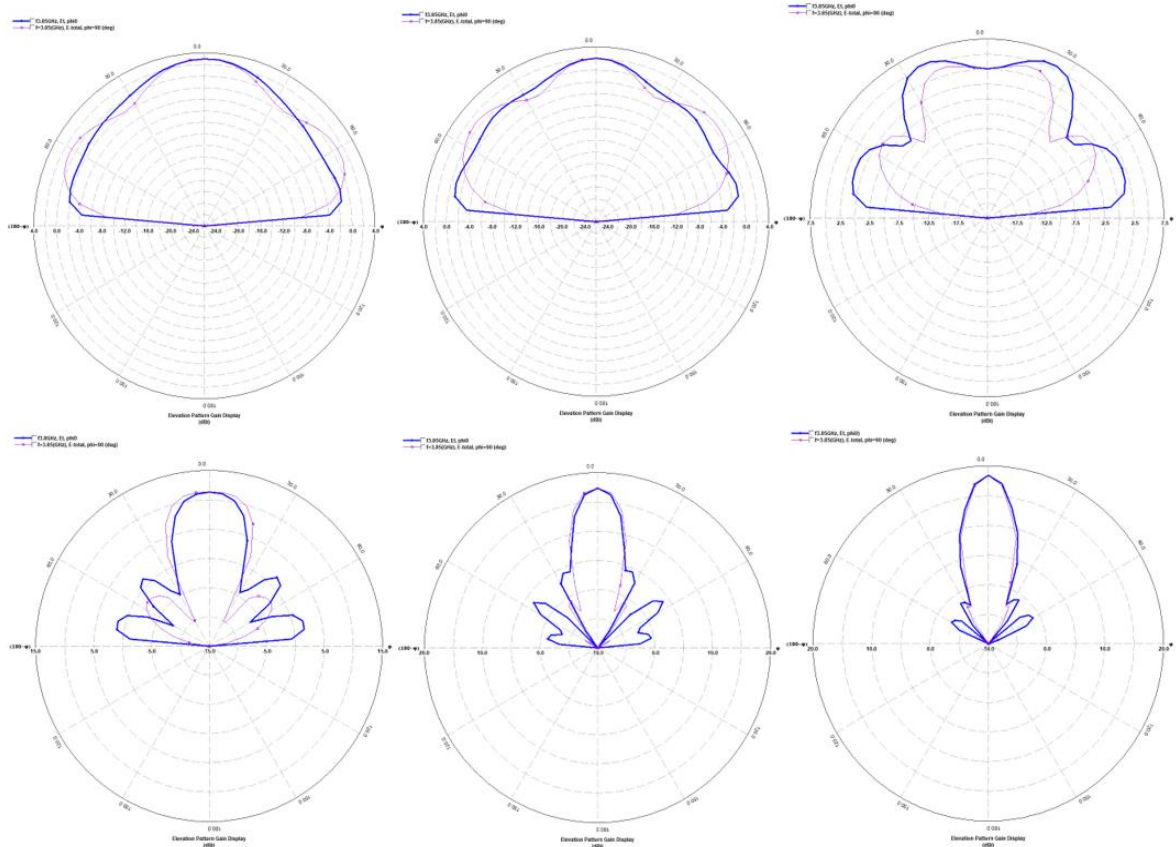


Figura 66. Comparativa del diagrama de radiació a 3,85GHz de tots els escenaris en IE3D

A la Figura 67 es pot veure una comparativa de la directivitat del pedaç sol i de l'estructura de l'escenari 7 amb l'àrea amb mida 506mm x 528mm. S'observa que la directivitat augmenta de 6,6 dB a 21,3 dB.

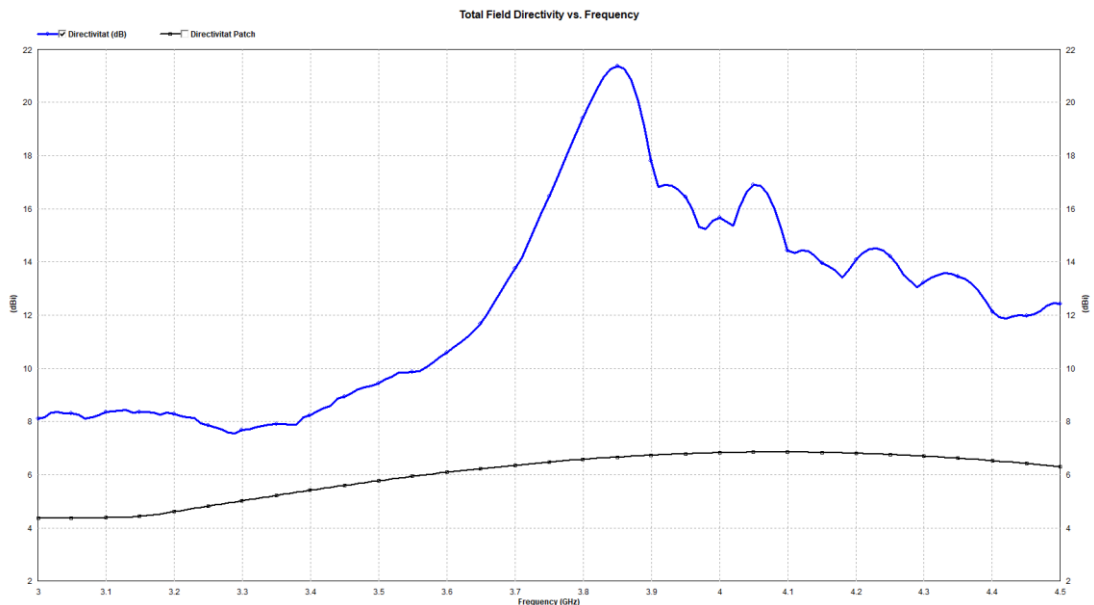


Figura 67. Comparativa de la directivitat del pedaç sol (negre) i de l'estructura (blau) en IE3D

A la Figura 68 es pot veure una comparativa dels diferents escenaris en quant a mides. D'aquesta manera s'observa clarament l'augment de l'àrea de un escenari a l'altre.

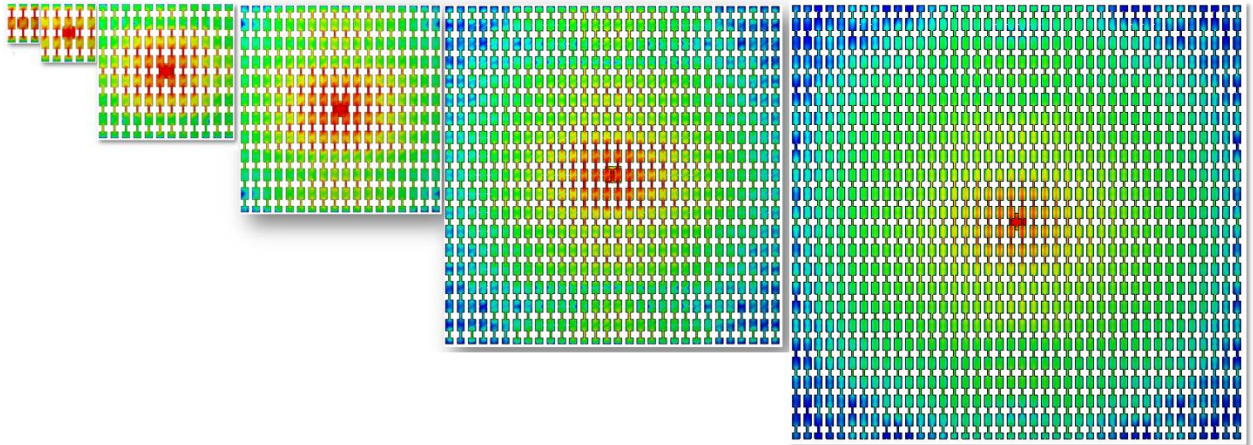


Figura 68. Comparativa de les corrents a 3,85GHz de tots els escenaris en IE3D (mides)

A la Figura 69 es pot veure una comparativa dels diferents escenaris en quant a corrents. S'observa que la corrent es dispersa a mesura que s'augmenta l'àrea de l'estructura, observant una il·luminació no uniforme.

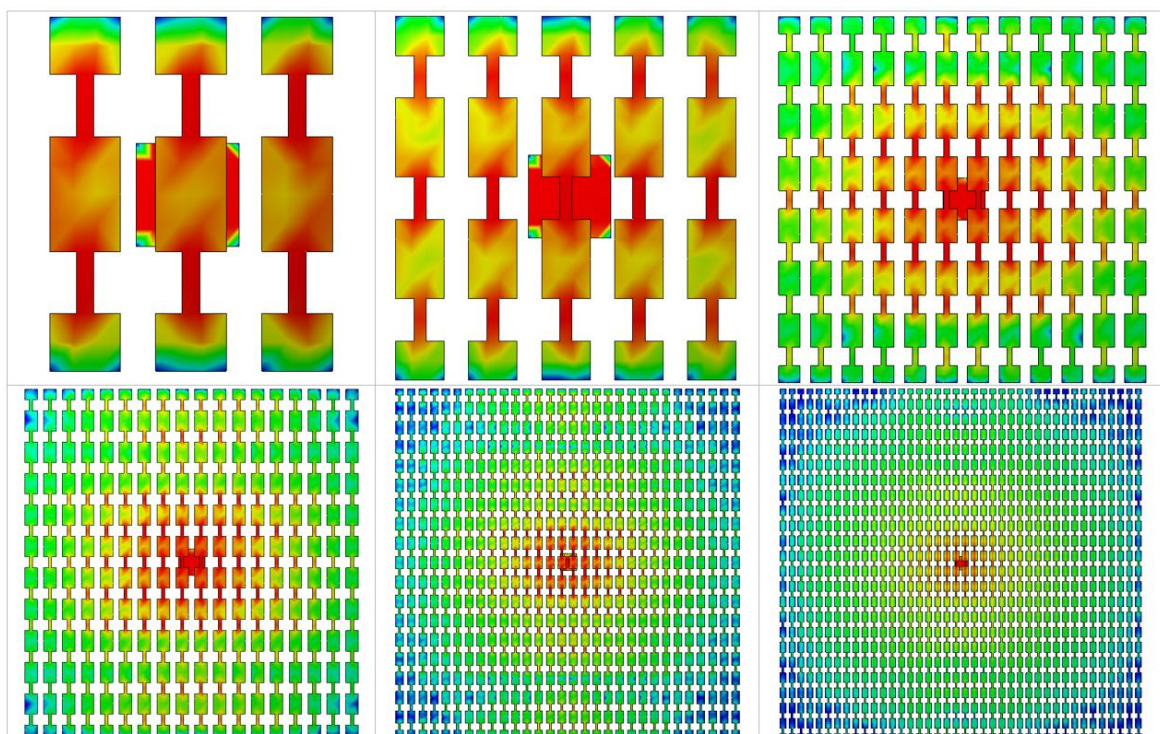


Figura 69. Comparativa de les corrents a 3,85GHz de tots els escenaris en IE3D

4. Conclusions i futur treball

En aquest treball s'ha fet un anàlisi i estudi de diferents tècniques per aconseguir augmentar la directivitat en antenes microstrip a través de l'ús de diferents estructures.

Primerament, a través de la lectura de diversos articles s'han pogut veure diferents tipus d'antenes amb diferents comportaments i configuracions, i de com aquestes podien ser millorades en quant a rendiment aplicant tècniques concretes.

Les antenes microstrip es caracteritzen per la seva fàcil fabricació, el seu baix cost de producció, l'alta eficiència com a elements radiants i la fàcil integració en circuits integrats. Això fa que resulti interessant l'estudi de tècniques que permetin dissenyar antenes simples (amb un únic *feed line*) que aconseguixin un alt rendiment (guany elevat, millor eficiència de radiació, alta directivitat) sense la necessitat de fer agrupacions d'antenes (amb *feed network*).

Al llarg d'aquest treball i a través dels diferents experiments, s'ha estudiat el comportament d'una antena microstrip davant d'una estructura (superstrat). A mesura que s'augmenta l'àrea de l'estructura, augmenta la directivitat del sistema. A més, s'aconsegueix un feix cada cop més estret i directiu observant el diagrama de radiació a la freqüència escollida. Com a futur treball, cal preguntar-se diverses qüestions. Fins a quin punt continua augmentant la directivitat a mida que es va augmentant l'àrea de l'estructura. O tot i que augmenti la directivitat, si aquest augment es cada cop més petit fins a arribar a ser negligible.

5. Referències

- [1] J. Anguera y A. Pérez, "Teoría de Antenas", 2008, Universitat Ramon Llull.
- [2] M. S. Sharawi, "Use of low-cost patch antennas in modern wireless technology," in *IEEE Potentials*, vol. 25, no. 4, pp. 35-47, July-Aug. 2006.
- [3] J. Anguera, C. Puente, C. Borja, and J. Soler, "Fractal-Shaped Antennas: a Review". *Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, edited by K. Chang, vol.2, pp.1620-1635, 2005.
- [4] J. Anguera, J.P. Daniel, C. Borja, J. Mumbrú, C. Puente, T. Leduc, N. Laeveren, and P. Van Roy, "Metallized Foams for Fractal-Shaped Microstrip Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol.50, no. 6, Dec. 2008, pp.20-38.
- [5] J. Anguera, A. Andújar, S. Benavente, J. Jayasinghe, and S. Kahng, "High-Directivity Microstrip Antenna with Mandelbrot Fractal Boundary", *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 12, Issue 4, 28 March 2018, p. 569 – 575.
- [6] Joi, W. , Cho, Y. H., Pyo, C. and Choi, J. (2003), "A High-Gain Microstrip Patch Array Antenna Using a Superstrate Layer." *ETRI Journal*, 25: 407-411.
- [7] J. Anguera, C. Puente, C. Borja and R. Montero, "Bowtie microstrip patch antenna based on the Sierpinski fractal," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. 2001 Digest. Held in conjunction with: USNC/URSI National Radio Science Meeting (Cat. No.01CH37229)*, Boston, MA, USA, 2001, pp. 162-165 vol.3.
- [8] J. Anguera, G. Montesinos, C. Puente, C. Borja, and J. Soler "An undersampled high-directivity microstrip patch array with a reduced number of radiating elements inspired on the Sierpinski fractal". *Microwave and Optical Technology Letters*. 37. 100 - 103, 2003 10.1002/mop.10836.
- [9] H. Zhou *et al.*, "A Novel High-Directivity Microstrip Patch Antenna Based on Zero-Index Metamaterial," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp. 538-541, 2009.
- [10] E. El-Khouly, H. Ghali and S. A. Khamis, "High Directivity Antenna Using a Modified Peano Space-Filling Curve," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 6, pp. 405-407, 2007.
- [11] Z. Liang, Y. Li, X. Feng, J. Liu, J. Qin and Y. Long, "Microstrip Magnetic Monopole and Dipole Antennas With High Directivity and a Horizontally Polarized Omnidirectional Pattern," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 3, pp. 1143-1152, March 2018.
- [12] C. J. Meagher and S. K. Sharma, "A Wideband Aperture-Coupled Microstrip Patch Antenna Employing Spaced Dielectric Cover for Enhanced

Gain Performance," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 9, pp. 2802-2810, Sept. 2010.

[13] H. Boutayeb and T. A. Denidni, "Gain Enhancement of a Microstrip Patch Antenna Using a Cylindrical Electromagnetic Crystal Substrate," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 11, pp. 3140-3145, Nov. 2007.

[14] J. M. J. W. Jayasinghe, J. Anguera, and D.N. Uduwawala, "Genetic Algorithm Optimization of a High-Directivity Microstrip Patch Antenna Having a Rectangular Profile", *Radioengineering*, Vol. 22, No. 3, September 2013, pp.700-707

[15] J. M. J. W. Jayasinghe, J. Anguera, and D.N. Uduwawala, "A High-Directivity Microstrip Patch Antenna Design by Using Genetic Algorithm Optimization", *Progress In Electromagnetics Research*, C Vol. 37, pp-131-144, 2013

[16] J. M. J. W. Jayasinghe, J. Anguera, and D.N. Uduwawala, and A. Andújar, "Genetic algorithm optimization of microstrip patch antennas for high-directivity applications", *International Journal of Electronics Letters*, 2015, 0.1080/21681724.2015.1034189

[17] X. Zhang and L. Zhu, "High-Gain Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna With Loading of Shorting Pins," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 6, pp. 2172-2178, June 2016.

[18] L. Kurra, M. P. Abegaonkar, A. Basu and S. K. Koul, "FSS Properties of a Uniplanar EBG and Its Application in Directivity Enhancement of a Microstrip Antenna," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1606-1609, 2016.

[19] P. Juyal and L. Shafai, "A High-Gain Single-Feed Dual-Mode Microstrip Disc Radiator," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 6, pp. 2115-2126, June 2016.

[20] G. R. DeJean and M. M. Tentzeris, "A New High-Gain Microstrip Yagi Array Antenna With a High Front-to-Back (F/B) Ratio for WLAN and Millimeter-Wave Applications," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 2, pp. 298-304, Feb. 2007.

[21] W. Chen, G. Wang and C. Zhang, "Bandwidth Enhancement of a Microstrip-Line-Fed Printed Wide-Slot Antenna With a Fractal-Shaped Slot," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 7, pp. 2176-2179, July 2009.

[22] Y. Chen, S. Yang and Z. Nie, "Bandwidth Enhancement Method for Low Profile E-Shaped Microstrip Patch Antennas," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 7, pp. 2442-2447, July 2010.

[23] D. N. Elsheakh, H. A. Elsadek, E. A. Abdallah, H. Elhenawy and M. F. Iskander, "Enhancement of Microstrip Monopole Antenna Bandwidth by Using EBG Structures," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp. 959-962, 2009.

[24] A. Rivera-Albino and C. A. Balanis, "Gain Enhancement in Microstrip Patch Antennas Using Hybrid Substrates," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 12, pp. 476-479, 2013.