



Universitat
Oberta
de Catalunya



UNIVERSITAT
**RAMON
LLULL**

ANÀLISI D'ESTRUCTURES EBG

Marc Ribó Àvila

Màster Universitari en Enginyeria de Telecomunicacions

Directors

Dra. AURORA ANDÚJAR LINARES

Dr. JAUME ANGUERA PROS

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	Anàlisi d'estructures EBG.
Nom del autor:	MARC RIBÓ ÁVILA
Nom del consultor/s:	AURORA ANDÚJAR LINARES JAUME ANGUERA PROS
Data entrega (mm/aaaa)	19/06/2017
Àrea del Treball Final:	TECNOLOGIA D'ANTENES
Titulació	Màster Universitari d'Enginyeria en Telecomunicacions.
Resum del treball (màxim 250 paraules)	
<p>En els últims anys l'estudi i desenvolupament de les tecnologies sense fil ha agafat molta força, sobretot pel que fa a les antenes microstrip ja que per la seva fàcil implementació, fabricació i lleugeresa permet poder-la instal·lar en dispositius on es requereixi d'aquest tipus d'antenes, com poden ser terminals mòbils, rellotges, polseres electròniques, etc. En definitiva dispositius que s'utilitzen prop del cos humà fet que es necessita que les radiacions cap aquest siguin mínimes.</p> <p>Aquest treball de final de màster té com a objectiu analitzar un seguit d'estructures EBG obtingudes de certs articles per veure com es comporten i com varien les seves propietats davant alguns escenaris. Les modificacions que es duen a terme són, reduir la distància entre antena i EBG, modificar el tipus d'antena, modificar les ranures de l'array EBG par cada una d'aquestes modificacions posteriorment es simulen amb el IE3D obtenint les eficiències de radiació i d'antena, les pèrdues de retorn, les impedàncies i en els casos que es creu més convenient, el corrent de l'estructura i el diagrama de radiació.</p> <p>El principal objectiu de les estructures EBG és comportar-se com un Perfect Electric Conductor (PEC) sense tenir la necessitat de col·locar-se a l'alçada d'$1/4$ de longitud d'ona, així doncs el que es pretén es aconseguir l'efecte d'un PEC aportant les seves propietats com són millorar el guany, millorar la directivitat, millorar les pèrdues de retorn, eliminar la radiació posterior, a més de disposar de baix perfil.</p>	

Abstract (in English, 250 words or less)

In the last years, the study and development of wireless technologies is very, especially with microstrip antennas, about its easy implementation, manufacture and lightness, can be installed on devices where it requires such antennas, such as mobile terminals, smartwatch, electronic bracelets, etc. Ultimately, devices that are used close to the human body make it necessary for radiation to be minimal.

This master's final project aims to analyze EBG structures obtained from certain articles to see how they behave and how their properties vary in some scenarios. The modifications that have been made are, reduce the distance between antenna and EBG, modify the type of antenna, modify the slots of the EBG array for each of these modifications the simulate radiation efficiencies and antenna, return losses, impedances and in the cases that are most convenient, the current of the structure and the radiation diagram are obtained.

The main objective of the EBG structures is to behave like a Perfect Electric Conductor (PEC) without having to place at a height of $1/4$ wavelength, so what is intended is to achieve the effect of a PEC by contributing its properties such as improving the gain, improving the directivity, improving the return losses, eliminating broadside radiation, as well as having a low profile.

Paraules clau (entre 4 i 8):

EBG, HIS, Microstrip, Bandgap, Electromagnetic Band Gap, High Impedance Surface

ÍNDIX

1.	INTRODUCCIÓ.....	13
1.1	CONTEXT i JUSTIFICACIÓ.	14
1.2	OBJECTIUS DE TREBALL.....	14
1.3	MEDIS UTILITZATS.....	14
1.4	ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA	14
2.	ESTRUCTURES PERIÒDIQUES.....	16
2.1	CONCEPTES D'ONES SUPERFICIALS	16
2.2	ELECTROMAGNETIC BAND GAP (EBG).....	16
3	ANÀLISI D'ARTICLES.....	18
3.1	REVIEW D'ARTICLES.	18
3.1.1	ARTICLE 1 : A RFID TAG METAL ANTENNA ON A COMPACT HIS SUBSTRATE	18
3.1.2	ARTICLE 2 : High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band	22
3.1.2.1	CONDUCTORS ELECTRICS.....	23
3.1.2.2	HIS.....	23
3.1.2.3	ONES SUPERFICIALS	24
3.1.2.3.1	INTERFÍCIES DIELÈCTRIQUES.....	24
3.1.2.3.2	SUPERFÍCIES METAL·LIQUES	24
3.1.2.3.3	HIS.....	25
3.1.2.4	SUPERFÍCIES TEXTURITZADES.....	25
3.1.2.4.1	PROTUBERÀNCIES.....	25
3.1.2.4.2	SUPERFÍCIES CORRUGADES.....	26
3.1.2.4.3	HIS.....	26
3.1.3	ARTICLE 3 : GAIN AND BANDWITH ENHANCEMENT OF SPIRAL ANTENNA USING CIRCULARY SIMMETRIC HIS	27
3.1.4	ARTICLE 4 : REFLECTION PHASE AND SURFACE WAVE PROPAGATION CHARACTERISTICS OF A SYMMETRICAT PERFORATED HIGH IMPEDANCE SURFACE	30
3.1.5	ARTICLE 5 : DESIGN, SIMULATION AND ANTENNA APPLICATIONS OF SPHERICAL HIGH IMPEDANCE SURFACES	31

3.1.6	ARTICLE 6 : A LOW-PROFILE WEARABLE ANTENNA USING A MINIATURE HIGH IMPEDANCE SURFACE FOR SMARTWATCH APPLICATIONS.....	33
3.1.7	ARTICLE 7 : APPLICATION OF Application of High Impedance Surfaces for Surface Wave Elimination.....	34
3.1.7.1	HIS TIPUS PROTUBERÀNCIES	35
3.1.7.2	HIS TIPUS CAVITAT.....	37
3.1.8	ARTICLE 8 : HIGH IMPEDANCE SURFACES BASED ANTENNAS FOR HIGH DATA RATE COMMUNICATIONS AT 40 GHz.....	37
3.1.9	Article 9 : A THIN, LOW-PROFILE ANTENNA USING A NOVEL HIGH IMPEDANCE GROUND PLANE	40
3.1.10	Article 10 : HIGH IMPEDANCE SURFACES FOR FLEXIBLE AND CONFORMAL WIRELESS SYSTEMS.....	42
3.1.11	Article 11 : HIGH-IMPEDANCE SURFACE DESIGN CONSIDERATIONS.	43
3.2	CONCLUSIONS.....	45
4.	ANÀLISI D'ESTRUCTURES EBG.....	47
4.1	ESTUDI 1: Design of a Broadband Dipole in Close Proximity to an EBG Ground Plane.....	47
4.1.1	SIMULACIONS	49
4.1.1.1	ESCENARI 1: ESPAI LLIURE.....	49
4.1.1.1.1	ESTRUCTURA.....	50
4.1.1.1.2	PERDUES DE RETORN	50
4.1.1.1.3	CARTA SMITH	51
4.1.1.1.4	EFICIÈNCIA.....	51
4.1.1.2	ESCENARI 2: DIPOL a 60 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG	52
4.1.1.2.1	ESTRUCTURA.....	52
4.1.1.2.2	PERDUES DE RETORN	53
4.1.1.2.3	CARTA SMITH	54
4.1.1.2.4	EFICIÈNCIA.....	54
4.1.1.2.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ	55
4.1.1.2.6	CORRENT	55
4.1.1.3	ESCENARI 3 DIPOL a 60 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG.....	57
4.1.1.3.1	ESTRUCTURA.....	57
4.1.1.3.2	PERDUES DE RETORN	58
4.1.1.3.3	CARTA SMITH	58
4.1.1.3.4	EFICIÈNCIA.....	59

4.1.1.4	ESCENARI 4 DIPOL a 42 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG.....	60
4.1.1.4.1	ESTRUCTURA.....	60
4.1.1.4.2	PERDUES DE RETORN	61
4.1.1.4.3	CARTA SMITH	61
4.1.1.4.4	EFICIÈNCIA.....	62
4.1.1.4.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ	62
4.1.1.4.6	CORRENT	63
4.1.1.5	ESCENARI 5 DIPOL a 42 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG.....	64
4.1.1.5.1	ESTRUCTURA.....	64
4.1.1.5.2	PERDUES DE RETORN	64
4.1.1.5.3	CARTA SMITH	65
4.1.1.5.4	EFICIÈNCIA.....	66
4.1.2	CONCLUSIONS	66
4.2	ESTUDI 2: DESIGN OF A BROADBAND DIPOLE IN CLOSE PROXIMITY TO AN EBG GROUND PLANE.....	68
4.2.1	SIMULACIONS.....	68
4.2.1.1	ESCENARI 1: BOWTIE ESPAI LLIURE	68
4.2.1.1.1	ESTRUCTURA:.....	68
4.2.1.1.2	PERDUES DE RETORN:	69
4.2.1.1.3	CARTA SMITH:.....	69
4.2.1.1.4	EFICIÈNCIA.....	70
4.2.1.2	ESCENARI 2: BOWTIE a 60 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG	70
4.2.1.2.1	ESTRUCTURA:.....	71
4.2.1.2.2	PERDUES DE RETORN:	71
4.2.1.2.3	CARTA SMITH:	72
4.2.1.2.4	EFICIÈNCIA.....	72
4.2.1.2.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ:	73
4.2.1.2.6	CORRENT:	73
4.2.1.3	ESCENARI 3: BOWTIE a 60 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG .	75
4.2.1.3.1	ESTRUCTURA.....	75
4.2.1.3.2	PERDUES DE RETORN:	75
4.2.1.3.3	CARTA SMITH:.....	76
4.2.1.3.4	EFICIÈNCIA.....	77

4.2.1.4	ESCENARI 4: BOWTIE a 42 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG	77
4.2.1.4.1	ESTRUCTURA:.....	78
4.2.1.4.2	PERDUES DE RETORN:	78
4.2.1.4.3	CARTA SMITH:.....	79
4.2.1.4.4	EFICIÈNCIA.....	79
4.2.1.4.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ:	80
4.2.1.4.6	CORRENT:	81
4.2.1.5	ESCENARI 5: BOWTIE a 42 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG .	82
4.2.1.5.1	ESTRUCTURA:.....	82
4.2.1.5.2	PERDUES DE RETORN:	83
4.2.1.5.3	CARTA SMITH:.....	83
4.2.1.5.4	EFICIÈNCIA.....	84
4.3.2	CONCLUSIONS	85
4.3	ESTUDI 3: HIGH-IMPEDANCE SUFACE DESIGN CONSIDERATIONS [11]	87
4.3.1	SIMULACIONS	88
4.3.1.1	ESCENARI 1: ESPAI LLIURE.....	88
4.3.1.1.1	ESTRUCTURA.....	88
4.3.1.1.2	PÈRDUES DE RETORN	88
4.3.1.1.3	CARTA SMITH	89
4.3.1.1.4	EFICIÈNCIA.....	90
4.3.1.2	ESCENARI 2: DIPOL A 13,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG...	90
4.3.1.2.1	ESTRUCTURA.....	91
4.3.1.2.2	PÈRDUES DE RETORN	91
4.3.1.2.3	CARTA SMITH	92
4.3.1.2.4	EFICIÈNCIA.....	92
4.3.1.2.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ	93
4.3.1.2.6	CORRENT	93
4.3.1.3	ESCENARI 3: DIPOL A 13,58 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG	94
4.3.1.3.1	ESTRUCTURA.....	95
4.3.1.3.2	PÈRDUES DE RETORN	95
4.3.1.3.3	CARTA SMITH	95
4.3.1.3.4	EFICIÈNCIA.....	96

4.3.1.4	ESCENARI 4: DIPOL A 7,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG	97
4.3.1.4.1	ESTRUCTURA.....	97
4.3.1.4.2	PÈRDUES DE RETORN	98
4.3.1.4.3	CARTA SMITH	98
4.3.1.4.4	EFICIÈNCIA.....	99
4.3.1.4.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ	99
4.3.1.4.6	CORRENT	100
4.3.1.5	ESCENARI 5: DIPOL A 7,58 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG	101
4.3.1.5.1	ESTRUCTURA.....	101
4.3.1.5.2	PÈRDUES DE RETORN	101
4.3.1.5.3	CARTA SMITH	102
4.3.1.5.4	EFICIÈNCIA.....	103
4.3.1.6	ESCENARI 6: DIPOL a 7,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG DE Wp=437,1 mm	103
4.3.1.6.1	ESTRUCTURA.....	104
4.3.1.6.2	PÈRDUES DE RETORN	104
4.3.1.6.3	CARTA SMITH	105
4.3.1.6.4	EFICIÈNCIA.....	105
4.3.1.6.5	DIAGRAMA DE RADIACIÓ	106
4.3.1.6.6	CORRENT	106
4.3.2	CONCLUSIONS	107
4.4	ESTUDI 4: HIGH-IMPEDANCE SUFACE DESIGN CONSIDERATIONS [11]	110
4.4.1	SIMULACIONS	110
4.4.1.1	ESCENARI 1: ESPAI LLIURE ESTRUCTURA.....	110
4.4.1.1.1	ESTRUCTURA.....	111
4.4.1.1.2	PÈRDUES DE RETORN	111
4.4.1.1.3	CARTA SMITH	112
4.4.1.1.4	EFICIÈNCIA.....	112
4.4.1.1.5	ESTRUCTURA.....	113
4.4.1.1.6	PÈRDUES DE RETORN	114
4.4.1.1.7	CARTA SMITH	114
4.4.1.1.8	EFICIÈNCIA.....	115
4.4.1.1.9	CORRENT	115

4.4.1.2	ESCENARI 3: DIPOL SERPENTÍ a 7,58 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG.....	117
4.4.1.2.1	ESTRUCTURA.....	117
4.4.1.2.2	PÈRDUES DE RETORN	118
4.4.1.2.3	CARTA SMITH	118
4.4.1.2.4	EFICIÈNCIA.....	119
4.4.2	CONCLUSIONS	120
4.5	ESTUDI 5 : LOW PROFILE FULLY PLANAR FOLDED DIPOLE ANTENNA ON A HIGH IMPEDANCE SUFACE.	120
4.5.1	SIMULACIONS	122
4.5.1.1	ESCENARI 1: DIPOL LLIURE	122
4.5.1.1.1	ESTRUCTURA.....	122
4.5.1.1.2	PÈRDUES DE RETORN	123
4.5.1.1.3	CARTA SMITH	123
4.5.1.1.4	EFICIÈNCIA.....	124
4.5.1.2	ESCENARI 2: DIPOL A 3.22 mm DEL PLA DE MASSA AMB HIS D'OSSOS.....	124
4.5.1.2.1	ESTRUCTURA.....	125
4.5.1.2.2	PÈRDUES DE RETORN	125
4.5.1.2.3	CARTA SMITH	126
4.5.1.2.4	EFICIÈNCIA.....	126
4.5.1.2.5	DIAGRAMA RADIACIÓ	127
4.5.1.2.6	CORRENT	127
4.5.1.3	ESCENARI 3 DIPOL A 3.22 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG	128
4.5.1.3.1	ESTRUCTURA.....	128
4.5.1.3.2	PÈRDUES DE RETORN	129
4.5.1.3.3	CARTA SMITH	129
4.5.1.3.4	EFICIÈNCIA.....	130
4.5.1.4	ESCENARI 4 DIPOL A 1.7 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG	130
4.5.1.4.1	ESTRUCTURA.....	131
4.5.1.4.2	PÈRDUES DE RETORN	131
4.5.1.4.3	CARTA SMITH	132
4.5.1.4.4	EFICIÈNCIA.....	132
4.5.1.4.5	DIAGRAMA RADIACIÓ	133

4.5.1.4.6	CORRENT.....	133
4.5.1.5	ESCENARI 5 DIPOL A 1.7 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG ...	134
4.5.1.5.1	ESTRUCTURA.....	134
4.5.1.5.2	PÈRDUES DE RETORN	135
4.5.1.5.3	CARTA SMITH	135
4.5.1.5.4	EFICIÈNCIA.....	136
4.5.2	CONCLUSIONS	136
5.	CONCLUSIONS FINALS.....	139
6.	REFERÈNCIES:.....	140
7	ÍNDIX DE FIGURES.....	144
8	ÍNDIX DE TAULES.	152
9	ÍNDIX D'EQUACIONS.	152

CAPITOL 1

INTRODUCCIÓ

1. INTRODUCCIÓ

En l'època que estem actualment, les comunicacions són de vital importància per la nostra societat degut a la constant demanda de prestacions tecnològiques. Cada vegada es requereix obrir nous ventalls d'investigació ja que els aparells que ens permeten l'accés a la informació i les comunicacions han de respondre de forma segura, ràpida i cada cop més, sense fils. Es per això que l'estudi, disseny i fabricació de les antenes té una gran importància en aquest món.

Fent especial atenció en l'àmbit de les antenes, com bé es conegut les dimensions d'aquestes venen determinades en funció de la freqüència que treballen o dit d'una altra manera, la freqüència de ressonància. És per això que va sorgir la miniaturització, on la mida de les antenes es veu considerablement reduït. [30] , [31], [32], [33], [34], [35].

Un altre aspecte important de les antenes és quan aquestes es troben prop d'un conductor ja que en aquest escenari modifica considerablement les propietats de les antenes, així com la directivitat, diagrama de radiació, eficiència d'antena i de radiació.

L'actual creixement dels dispositius portables que s'utilitzen actualment entre d'altres i estan constantment amb les persones és necessari analitzar el comportament de les seves antenes per tal de reduir les radiacions cap al cos o l'acoblament entre dispositius. La gran part d'aquests dispositius estan formats amb antenes utilitzant la tecnologia microstrip. Aquesta tecnologia té una sèrie d'avantatges com són la lleugeresa, la mida reduïda, la facilitat de fabricació, baix cost i d'altres que permeten una fàcil implementació en els dispositius.

La tecnologia microstrip suporta principalment dos tipus d'ones, les ones espacials que són les ones radiades a l'espai lliure, perden magnitud i patint atenuacions segons augmenta la distància i les ones de superfície, que estan confinades al dielèctric. Aquestes ones viatgen al llarg del dielèctric generant múltiples reflexions al trobar-se amb el pla de massa i un cop arriben als límits de l'antena l'ona es transmet cap a l'aire generant una degradació del diagrama de radiació, pèrdua d'eficiència, reducció del guany, la difracció de les ones també incrementa els lòbuls posteriors que deterioren la relació senyal soroll en les comunicacions sense fil. Així doncs les ones de superfície s'intenten evitar en qualsevol disseny d'antena.

El present projecte es centrarà en l'estudi d'antenes amb corrents horitzontals sobre plans conductors situats elèctricament molt a prop. Per evitar la pèrdua d'eficiència s'utilitzen estructures de banda prohibida electromagnètica (EBG Electromagnetic Band Gap) que emulen a certes freqüències un AMC (Artificial Magnetic Conductor).

1.1 CONTEXT I JUSTIFICACIÓ.

Aquest treball de final de màster sorgeix de la necessitat d'estudiar el comportament i anàlisi de les antenes situats molt prop d'elements conductors.

Aquest estudi engloba l'estudi d'estructures electromagnètiques de banda prohibida (Electromagnetic Band Gap) i el seu comportament davant diferents tipus d'antena, d'estructures i freqüències, sobretot pel fet que la tecnologia microelectrònica té un paper més important davant els sistemes de comunicacions sense fil ja que cada vegada es desitja que siguin més petits i amb més funcionalitats fent que la mida de l'antena també es vegi més reduïda, sigui lleugera i amb gran eficiència.

1.2 OBJECTIUS DE TREBALL

Els objectius que s'han marcat per aquest treball han estat:

Adquirir coneixements sobre teoria i funcionament d'estructures EBG.

Familiarització i cerca de dissenys funcionals d'estructures EBG que es troben al dia a dia.

Adquirir coneixements i dominar el software IE3D per la reproducció d'estructures.

Anàlisi, reproducció i simulació d'estructures EBG.

1.3 MEDIS UTILITZATS

Pel desenvolupament i estudi dels diferents escenaris i estructures s'ha utilitzat el software IE3D. Aquest software està dedicat per la simulació electromagnètica d'ona completa, això permet l'estudi i anàlisi tant en 1D, 2D, 3D. Amb el IE3D s'han creat les diverses antenes, estructures EBG que s'han simulat per obtenir els resultats i posteriorment s'analitza i es discuteix el seu comportament.

1.4 ESTRUCTURA DE LA MEMÒRIA

L'estructura d'aquesta memòria està dividida principalment en cinc capítols. Per començar s'hi pot trobar una petita introducció al treball i a la tecnologia que s'estudiarà més endavant. Seguidament s'hi troba el segon capítol, que fa un anàlisi d'alguns articles que discuteixen sobre les estructures EBG i HIS, amb aquest capítol es pretén posar en situació al lector. A continuació s'hi pot veure el capítol tres que està compost per tot un seguit d'estructures extremes d'alguns articles on s'han realitzat modificacions sobre alguns dels seus elements per veure, analitzar i discutir el seu comportament.

Per acabar, l'últim capítol que hi ha són les conclusions on es comenten i discuteixen els resultats obtinguts.

CAPITOL 2

Estructures periòdiques

2. ESTRUCTURES PERIÒDIQUES

2.1 CONCEPTES D'ONES SUPERFICIALS

Les ones de superfície es produeixen a les interfícies amb un metall. La propagació d'aquestes com s'ha comentat anteriorment provoquen un seguit de problemes en aquestes antenes, redueixen eficiència, guany, limiten l'amplada de banda, augmenten la radiació posterior, limiten el rang de freqüències al qual es pot aplicar. A més d'altra banda, la miniaturització i integració d'antenes microstrip amb circuits microstrip es poden dificultar per la necessitat de constants dielèctriques altes. Les ones que arriben al pla de massa, són reflexades fins arribar a la interfície aire-dielèctric, que també les reflexa fins arribar als extrems de l'estructura microstrip on una part es reflexa i una altra es radia enrere, fet que podria provocar acoblament amb altres elements.



Il·lustració 1: Recorregut de les ones superficials en dielèctrics.

2.2 ELECTROMAGNETIC BAND GAP (EBG)

Les estructures EBG consisteixen en pedaços de metall periòdics sobre un substrat dielèctric i s'utilitzen per eliminar la propagació d'ones electromagnètiques en una banda de freqüències específica sigui quin sigui el seu angle incident i el seu estat de polarització si la banda prohibida és completa.

En general es poden classificar en tres categories: estructures volumètriques, estructures planes i estructures d'una dimensió. En particular una EBG degut a la seva estructura periòdica es pot comportar com un AMC (Artificial Magnetic Conductor) o HIS (High Impedance Surface). És precisament aquesta característica la que s'estudia en aquest projecte amb l'objectiu de poder situar antenes de fil molt properes a plans elèctrics conductors.

CAPITOL 3

ANÀLISI D'ARTICLES

3 ANÀLISI D'ARTICLES

Per posar-se en situació dintre de l'àmbit de les estructures EBG i HIS, s'ha decidit analitzar i comentar un seguit d'articles relacionats amb aquesta tecnologia on cadascun té alguna peculiaritat respecte els demés. Així al pròxim capítol es discutiran els resultats simulats en els articles i porta'ls més al límit pel que fa a les propietats d'aquests sistemes, per aconseguir-ho es realitzaran més proves modificant les geometries, les antenes o distàncies utilitzades als articles. És important destacar que dintre de l'àmbit de les antenes, el propòsit d'aconseguir antenes eficients, petites, multibanda, d'altra directivitat és una constant línia de recerca tal i com es mostra en les referències.

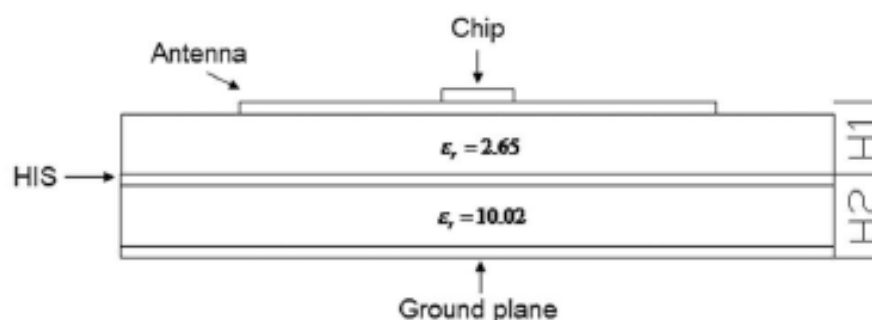
3.1 REVIEW D'ARTICLES.

3.1.1 ARTICLE 1 : A RFID TAG METAL ANTENNA ON A COMPACT HIS SUBSTRATE [1]

Y. Liu † Communication University of China, Beijing, China

En aquest article es parla de com es pot millorar el comportament d'una antena RFID quan aquesta es troba molt prop d'un element conductor mitjançant la introducció d'un HIS (High Impedance Surface) o conductor magnètic artificial (Artificial Magnetic Conductor) fent que aquesta estructura actuï de pla de massa provocant que les ones reflectides estiguin en fase. El problema de col·locar una antena molt prop d'un conductor és que aquest varia la impedància d'entrada, el diagrama de radiació i la freqüència de ressonància de l'antena.

Les avantatges d'afegir un HIS com a pla de massa és millorar l'eficiència d'antena, reduir el perfil d'antena, millora el guany d'antena.



Il·lustració 2: Article 1: Estructura HIS entre dos dielèctrics

L'estructura empleada és la que és mostra en la Il·lustració 2: Article 1: Estructura HIS entre dos dielèctrics Il·lustració 2, al primer nivell s'hi troba l'antena dipol en serpenteig imprès sobre un dielèctric amb un gruix de 2 mm i una

permitivitat relativa de $\epsilon_r = 2.65$, seguidament hi ha l'estructura periòdica HIS amb les mides corresponents segons la freqüència impresa sobre un substrat dielèctric de 1.52 mm de gruix i una permitivitat relativa de $\epsilon_r = 10.02$.

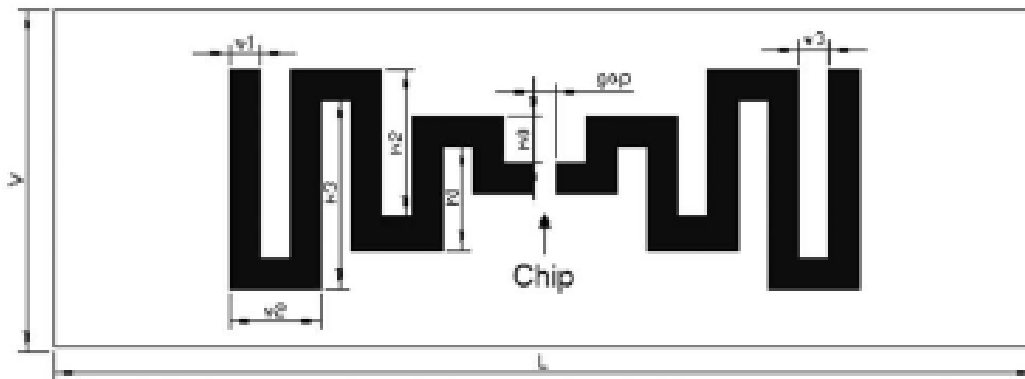
Es tracta del disseny d'un dipol $\lambda / 2$ que s'ha serpentejat per reduir la seva mida (part superior de l'estructura). Llargada = $0.396 \cdot \lambda_0$ i amplada $0.132 \cdot \lambda_0$ i gruix de $0.011 \cdot \lambda_0$ on $\lambda_0 = 920$ MHz.

Les mides del dipol de la Il·lustració 3 són les de la

Taula 1:

$h_0 = 6$ mm	$w_1 = 4$ mm
$h_1 = 13$ mm	$w_2 = 12$ mm
$h_2 = 19$ mm	$w_3 = 4$ mm
$h_3 = 24$ mm	GAP=3 mm

Taula 1: Article 1: Mides dipol serpenti



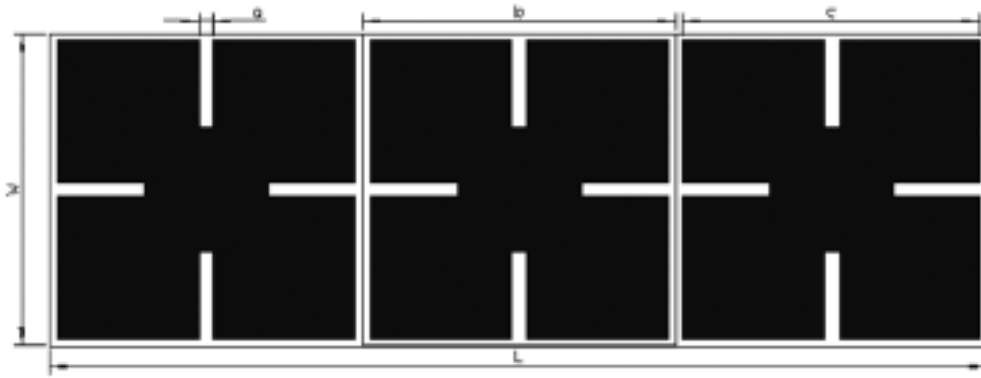
Il·lustració 3: Article 1: dipol Serpenti

Pel que fa al HIS es comenta que hi ha dues maneres d'implementar-ho, una és curtcircuitant cada pedaç de metall cap al pla de massa mitjançant VIA, és més car però més petit i l'altra sense VIAS. En aquest article utilitzen un HIS sense VIA, mitjançant pedaços de metall amb ranures i modificant les dimensions d'aquestes la freqüència de ressonància es pot desplaçar.

Les mides del HIS Il·lustració 4 són:

MIDES HIS
$a = 2$ mm
$b = 43$ mm
$c = 41$ mm

Taula 2: Article 1: Dimensions HIS



Il·lustració 4: Article 1: Estructura HIS

Les alçades dels substrats són:

MIDES DIELÈCTRICS
$H_1 = 2 \text{ mm}$ i $\epsilon_r = 2.65$
$H_2 = 1.52 \text{ mm}$ i $\epsilon_r = 10.02$

Taula 3: Article 1 mides de dielèctrics

La mida de l'estructura

MIDES ESTRUCTURA
$W = 43 \text{ mm}$ ($0.132 \cdot \lambda_0$)
$L = 129 \text{ mm}$ ($0.396 \cdot \lambda_0$).
$H = 3.52$

Taula 4: Article 1: Perímetres estructura HIS.

El HIS es pot veure com un circuit LC en paral·lel amb les capacitàncies i inductàncies segons les Equació 1:

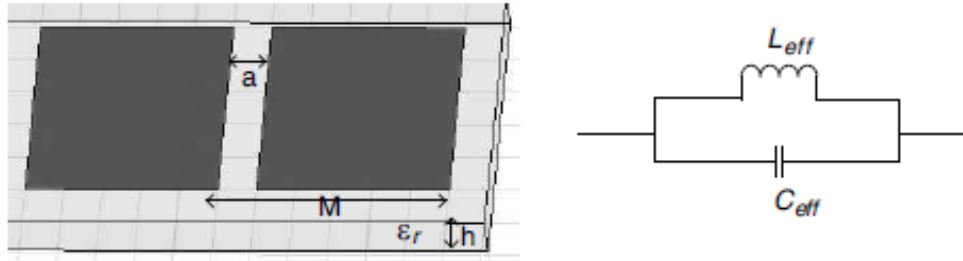
$$L_{eff} = \mu_0 h$$

$$C_{eff} = \epsilon_0 (\epsilon_r + 1) \frac{M}{\pi} \ln \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\pi \cdot a}{2 \cdot M}\right)} \right)$$

Equació 1: Article 1: equacions LC

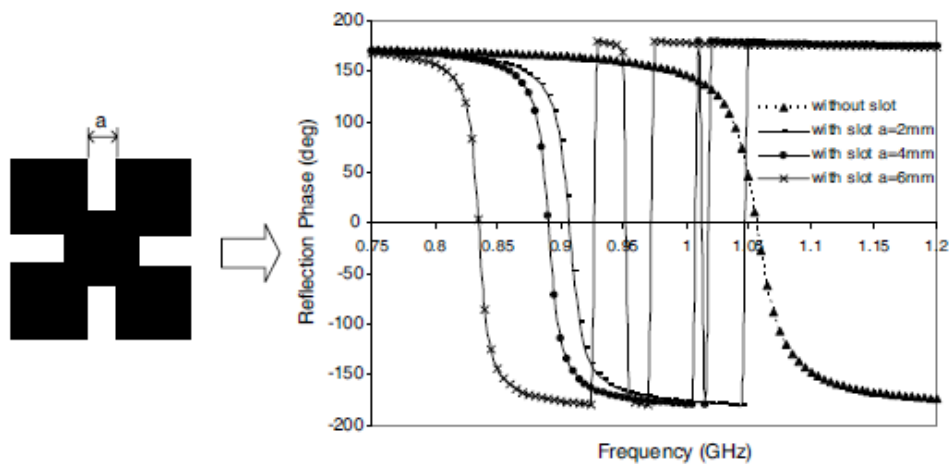
On la freqüència de ressonància ve donada per :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eff}C_{eff}}}$$



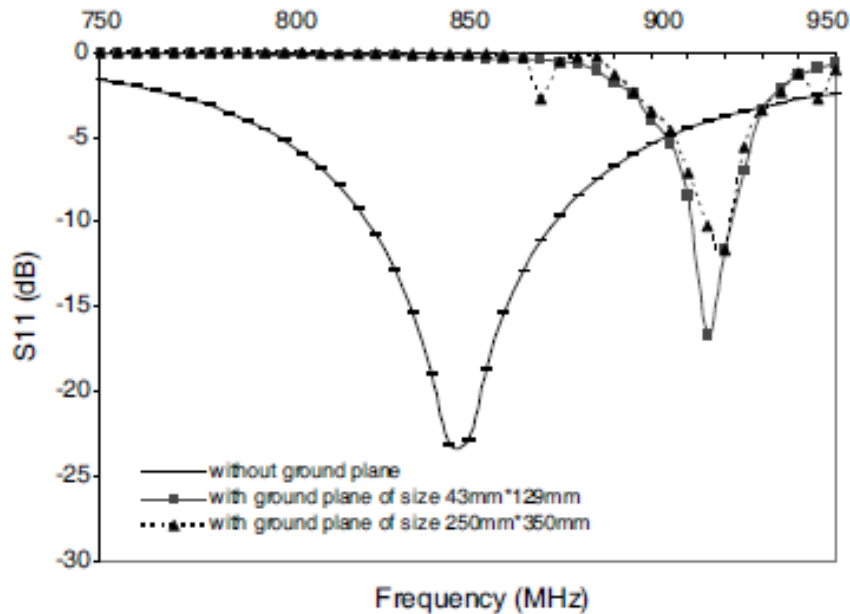
Il·lustració 5: Article 1: estructura equivalent a circuit LC

Com es pot observar la capacitància augmenta conforme s'augmenta la distància entre els pedaços o la ranura del pedaç (valor de a) i la freqüència de ressonància es veuria reduïda.



Il·lustració 6: Article 1: Fase reflexada segons amplada de ranura.

A la Il·lustració 7 es mostren les pèrdues de retorn segons tres situacions, una sense pla de massa i les altres dues amb un HIS de tres cel·les on es varia les dimensions del pla de massa finit, un de 43x129 mm i l'altre de 250 mm x 350 mm.



Il·lustració 7: Article 1: pèrdues de retorn, sense pla de massa, amb pla de massa petit i pla de massa infinit.

Les conclusions a les que s'arriba amb aquesta estructura és que mitjançant una estructura HIS és pot reduir la dimensió de l'antena, col·locar-ho sobre elements metàl·lics i a sobre millora el guany de l'antena fent que l'abast de lectura en etiquetes RFID sigui més gran.

3.1.2 ARTICLE 2 : High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band [2]

Dan Sievenpiper, Lijun Zhang, Romulo F. Jimenez Broas, Nicholas G. Alexopolous and Eli Yablonovitch.

En aquest article exposa el comportament de les ones davant diverses situacions, primerament s'expliquen els conceptes bàsics i a continuació s'anomenen una sèrie de geometries per tal d'aconseguir estructures HIS.

L'estructura dissenyada està caracteritzada per tenir una superfície amb alta impedància tot i ser d'una sola peça aquesta condueix corrent continua i no condueix corrent alterna per una banda de freqüències prohibides, aquesta superfície fa que les ones que es reflecteixen no tinguin una fase inversa. La geometria d'aquesta superfície és com un metall corrugat on les ondulacions són elements bidimensionals i agrupats més petits que a la longitud d'ona de ressonància. Amb aquest disseny es pot evitar diversos problemes electromagnètics i aportar dissenys de noves antenes amb perfil baix.

3.1.2.1 CONDUCTORS ELÈCTRICS

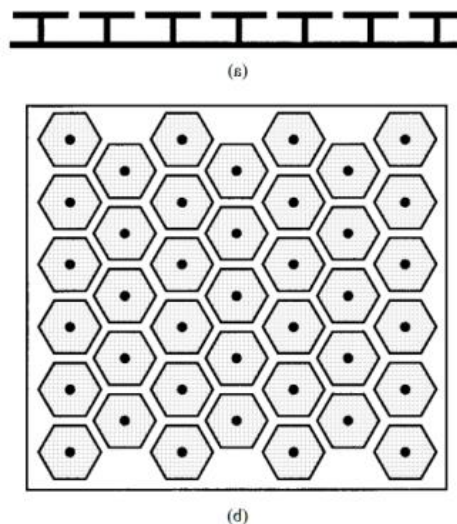
En moltes antenes s'utilitzen metalls plans per reflectir les ones en sentit oposat, millorant el guany i blindant l'altre costat o també com a pla de massa. En aquests casos hi ha el problema que la distància entre aquesta superfície i l'antena ha de ser com a mínim un quart de longitud d'ona per tal de no cancel·lar-se els corrents imatge i tenir una mala eficiència de radiació.

Una altra propietat dels metalls és que suporten ones de superfície i són propagades cap a l'espai lliure. Si la superfície es llisa i plana les ones superficials no radien a l'exterior com ones planes, en canvi si tenen rugositats o discontinuïtats, radien verticalment.

En un pla de massa finit les ones es propaguen fins les bores o cantonades i això pot crear ondulacions en les radiacions, en el cas que múltiples antenes comparteixin el mateix pla de massa aquestes ones poden crear acoblaments mutus.

3.1.2.2 HIS

Per tal d'aconseguir una superfície d'alta impedància, s'afegeix una textura a la superfície conductora per modificar les propietats de la seva freqüència. En el límit quan la periodicitat de la textura és molt més petita que la longitud d'ona aquesta modifica la seva impedància, així doncs una superfície llisa té baixa impedància mentre que una superfície amb textura pot tenir una impedància alta.



Il·lustració 8: Article 2: Estructura mushroom HIS

Per exemple la Il·lustració 8, és tracta d'un array de protuberàncies sobre un metall llis i es pot fabricar fàcilment utilitzant PCB, aquestes protuberàncies són

formades per pedaços de metall sobre la primera superfície de la placa que es connecten al pla de massa mitjançant vies.

Si les protrusions són més petites que la long d'ona aquests actuen com capacitàncies i inductors creant xarxes de circuits LC en paral·lel actuant com a filtres per tal d'eliminar el flux sobre la placa. El rang de freqüències pel qual té una elevada impedància el camp magnètic és petit.

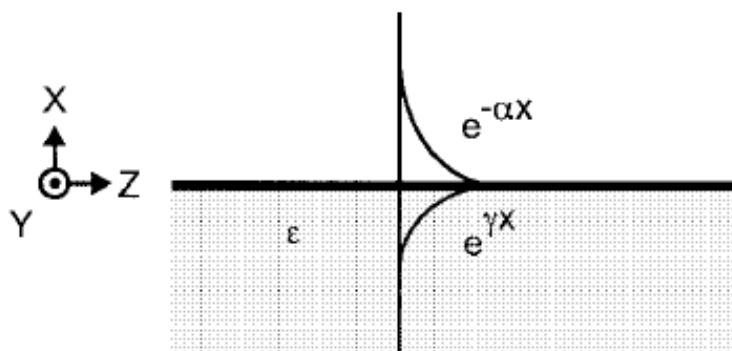
Aquesta estructura és pot utilitzar com un pla de massa per antenes amb perfil baix, on els corrents imatge estan en fase fent podent tenir elements radiants propers mentre que la radiació és eficient.

3.1.2.3 ONES SUPERFICIALS

Les ones superficials Succeeixen quan hi ha un canvi entre dos materials diferents com és el metall i l'aire. Aquests corrents de superfície es poden veure com un dielèctric constant efectiu o una impedància de superfície efectiva.

3.1.2.3.1 INTERFÍCIES DIELÈTRIQUES.

Tenint una superfície plana en el pla YZ, la regió $X > 0$ és el buit i la regió $X < 0$ és el dielèctric ϵ_r . L'ona que passa per la superfície decau en les $+X$ segons la constant α mentre que en la direcció $-X$ decau segons la constant γ y la ona es propaga en Z segons la constant K. Per tant el camp elèctric en el buit tindrà la component $+ax$ mentre que el camp elèctric en el dielèctric serà $+Yx$.



Il·lustració 9: Article 2: Interfícies dielèctriques

Si ϵ és $+$, α i γ són imaginaries i les ones no decauen amb la distància. Si ϵ és < -1 o és imaginaria, la solució descriu una ona que passa per la superfície.

3.1.2.3.2 SUPERFÍCIES METAL·LIQUES

Les ones es propaguen cap al buit a una velocitat propera a la de la llum on circulen per la superfície de metall amb una petita atenuació. Per bons conductors a les freqüències de microones, les ones es propaguen a unes bones distàncies per l'espai que envolta el metall.

3.1.2.3.3 HIS

Tal i com s'ha indicat anteriorment, aplicant textura a la superfície de metall es pot alterar la seva impedància de manera que canvia les propietats de les ones superficials. L'ona decau exponencialment fins el límits segons la constant α . El límit és caracteritzat per la impedància de la superfície això es pot mostrar les ones magnètiques succeeixen en una superfície inductiva o en ones elèctriques en una superfície capacitiva.

L' impedància de la superfície amb textura està caracteritzada per ser equivalent a un circuit paral·lel LC. A baixes freqüències és inductiu, suporta ones magnètiques i a altes freqüències és capacitiu, suporta ones elèctriques. Proper a la freqüència de ressonància la superfície té una elevada impedància i les ones no radien cap a la superfície sinó que radien cap a l'espai.

3.1.2.4 SUPERFÍCIES TEXTURITZADES

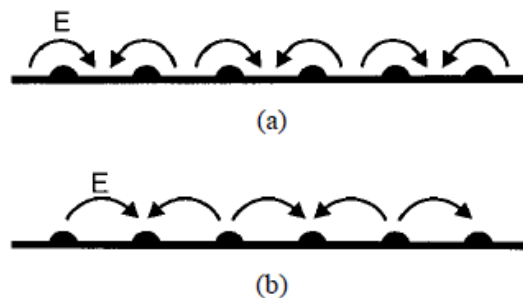
Fins ara les ones superficials s'eliminaven mitjançant diverses geometries com un metall amb petites protuberàncies o un metall corrugat. El que s'estudia actualment és la utilització d'un array d'elements que conformin una estructura bidimensional mitjançant una periodicitat i gruix molt més petits que la longitud d'ona d'operació.

3.1.2.4.1 PROTUBERÀNCIES.

Les ones de superfície d'un metall s'eliminen aplicant una textura periòdica de petites protuberàncies creant interferències i evitant la propagació de les ones electromagnètiques en la freqüència prohibida.

Quan la longitud d'ona és més elevada que el període de l'array, les ones superficials no noten les protuberàncies i a longituds d'ona més petites sí noten els efectes de les protuberàncies, sobre la longitud en qüestió.

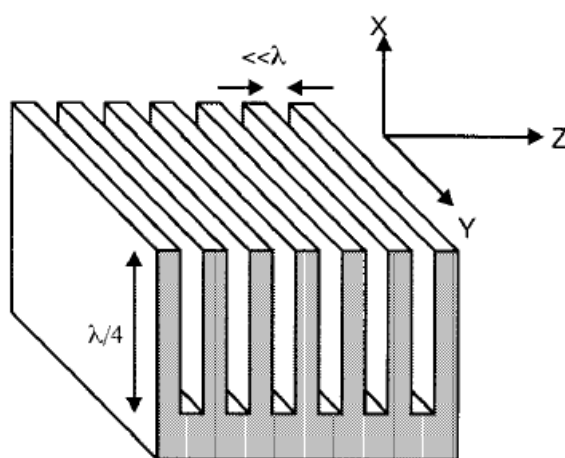
Sobre aquesta longitud d'ona les ones estacionàries poden tenir 2 posicions, amb els màxims o amb els mínims centrats a les protuberàncies tal i com es mostra a la Il·lustració 10



Il·lustració 10: Article 2: Protuberàncies.

3.1.2.4.2 SUPERFÍCIES CORRUGADES.

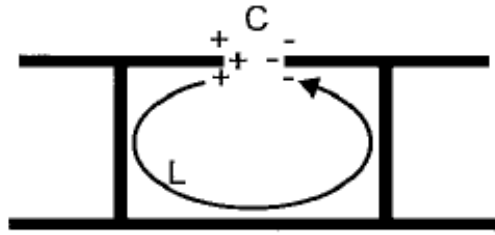
Una superfície corrugada és un metall on hi ha una sèrie de ranures estretes molt més petites que una longitud d'ona, cada una d'aquestes ranures és com una línia de transmissió paral·lela en curtcircuit per la part inferior com s'observa en al Il·lustració 11. Si les ranures tenen una profunditat de $\lambda/4$ el curtcircuit es transformat en un circuit obert fent que la impedància de l'estructura sigui molt alta. Si hi ha moltes ranures per longitud d'ona, la impedància efectiva de la superfície és igual a la impedància de les ranures. Si les ranures són més grans que $\lambda/4$ la impedància de la superfície es capacitiva i les ones magnètiques són prohibides.



Il·lustració 11: Article 2: Superfície corrugada.

3.1.2.4.3 HIS

La impedància de la superfície és modelada com un circuit paral·lel ressonant, el qual pot ser modificat per una freqüència determinada. A la Il·lustració 12, es pot veure com s'aconsegueix inductància i capacitància en les HIS. Les ones electromagnètiques interactuen amb les plaques de metall generant corrents que juntament amb les plaques en paral·lel formen capacitàncies i com les càrregues d'aquest van i tornen a través de les vies el pla de massa, això genera un cap magnètic (inductància). De manera que la impedància de la superfície és igual al circuit ressonant en paral·lel de la inductància i la capacitància.



Il·lustració 12: Article 3: Efecte LC en superfícies mushroom

S'associa alta impedància amb una freqüència prohibida. També es poden formar estructures amb geometria de dues capes on els capacitàncies són formats per la proximitat del les plaquetes metàl·liques i la inductància a mitjançant del gruix de l'estructura mentre en una estructura de tres capes es permet un gruix inferior amb la càrrega capacitiva ja que les plaques sobreposades en paral·lel són les que formen les capacitàncies.

Les conclusions a les quals s'arriba són que utilitzant HIS com a pla de massa demostra com es suprimeixen les ones superficials i la fase inusual on una antena utilitzant HIS com a pla de massa s'aconsegueix el mateix que si es col·loques un pla de massa convencional tot i que amb menys radiació per la part posterior, permetent que es col·loquin molt prop del HIS sense haver de ser curtcircuitats. Els HIS s'utilitzen especialment en camps de comunicacions portables, ja que la interacció entre l'antena i l'usuari tenen un gran impacte sobre les propietats de l'antena, a més d'aportar millor eficiència, vida de la bateria més llarga i menys pes.

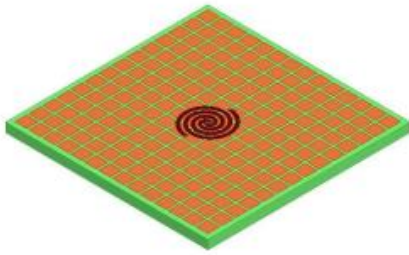
Finalment realitzen un estudi entre diversos tipus d'antenes amb i sense HIS arribant a la conclusió que és molt útil utilitzar HIS ja que aporten molts beneficis respecte els elements convencionals en certes localitzacions.

3.1.3 ARTICLE 3 : GAIN AND BANDWITH ENHANCEMENT OF SPIRAL ANTENNA USING CIRCULARY SIMMETRIC HIS [3]

Mikal Askarian Amiri, Constantine A. Balanis and Craig R. Birtcher

En aquest article utilitzen una superfície d'alta impedància circular i simètrica com a pla de massa pel disseny d'una antena espiral amb baix perfil. Amb el HIS circular s'obté una amplada de banda més ampla per antenes espirals en comparació amb les rectangulars tot i que es tracta d'antenes de banda estreta,

amb l'ajut d'aquest HIS també s'observa com el guany d'antena també millora en comparació amb un HIS rectangular Il·lustració 14.



Il·lustració 13: Article 3: HIS circular



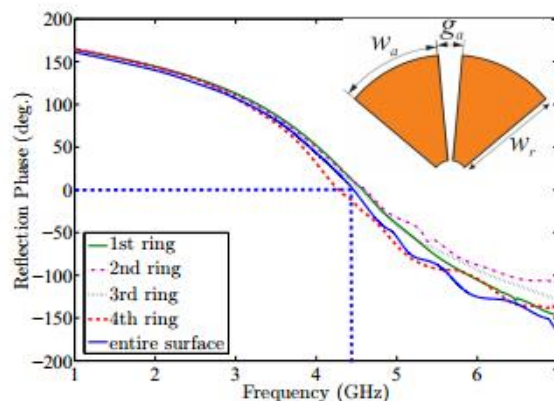
Il·lustració 14: Article 3: HIS rectangular

El HIS circular té una estructura com la que s'observa a la Il·lustració 13 i la següent taula fa un resum dels paràmetres dels anells del HIS on w_a és l'angle i w_r la llargada, g_a és l'angle del forat i g_r la llargada i les mides de la cel·la estan determinades per l'angle de la cel·la ($aa = w_a + g_a$) i la llargada radial ($a_r = w_r + g_r$).

Paràmetre	Forat angular (deg)	Forat radial (mm)
1r anell	1	1.35
2n anell	6.6	1.1
3r anell	8.4	1.1
4t anell	9.5	1.2

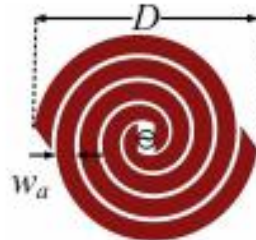
Taula 5: Article 3: dimensions anells del HIS circular

A la Il·lustració 15 es mostra el diagrama de la reflexió de fase sobre una superfície circular a 4,5GHz. La llargada de l'arc de la cel·la augmenta pels anells externs tot i que encara és molt més petita que la longitud d'ona, $aa \ll \lambda$ a la freqüència més alta de l'amplada de banda.



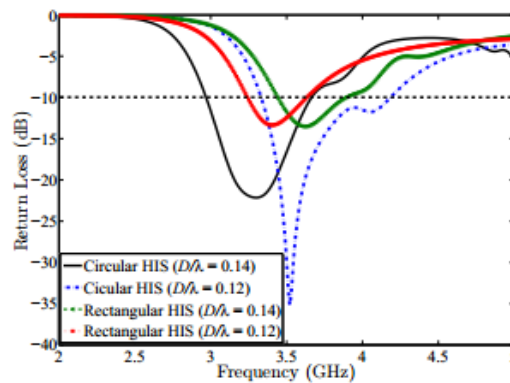
Il·lustració 15: Article 3: Fase reflexada en HIS circular

Antena espiral utilitzada és la que s'observa a la Il·lustració 16, amb dos braços i dos girs, on w_a és l'amplada del braç i D el diàmetre de l'espiral. La separació entre el HIS i l'antena és de $0,005 \lambda$.



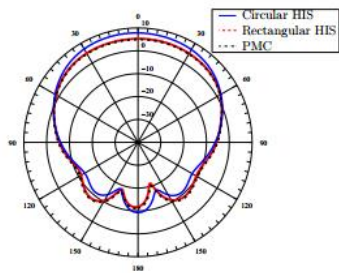
Il·lustració 16: Article 3: Antena Circular

A l'article es fa una comparació entre l'antena espiral amb HIS rectangular i amb HIS circular, mitjançant les simulacions obtenen que amb el HIS circular es té un 16% més gran d'amplada de banda (44% CIRCULAR – 28% RECTANGULAR) tal i com es mostra a la Il·lustració 17.

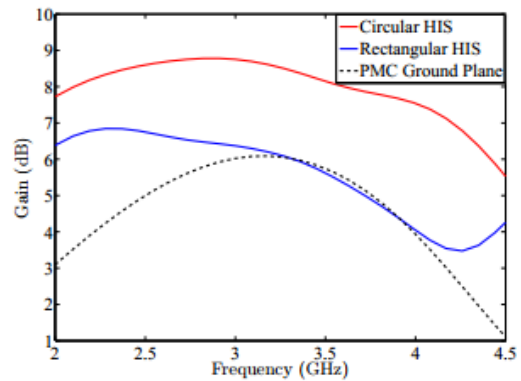


Il·lustració 17: Article 3: Comparativa S11 entre HIS circular, rectangular.

La comparativa del guany entre HIS circular, HIS rectangular i PEC és la que s'observa a les figures de sota, la Il·lustració 18 correspon al diagrama de radiació mentre que la Il·lustració 19 és el guany . El guany d'una antena espiral és de 2,5dB, si es col·loca un PMC o HIS rectangular és de 5,5dB i amb un HIS circular el guany és de 8dB degut a la fase reflectida.



Il·lustració 18: Article 3: Comparativa dels diagrames de radiació entre HIS circular i rectangular.

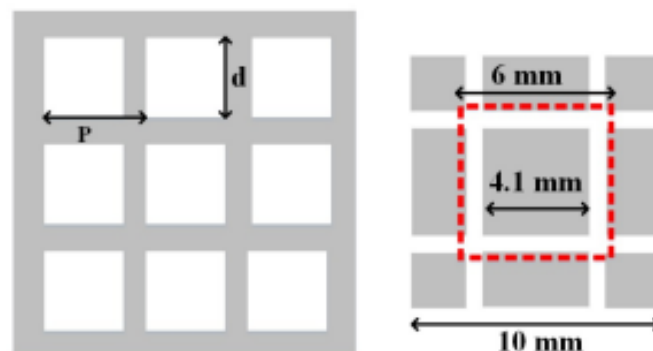


Il·lustració 19: Article 3: Comparativa del guany entre HIS circular i rectangular.

3.1.4 ARTICLE 4 : REFLECTION PHASE AND SURFACE WAVE PROPAGATION CHARACTERISTICS OF A SYMMETRIC PERFORATED HIGH IMPEDANCE SURFACE [4]

Saud M. Saeed and Constantine A. Balanis

Al present article es proposa EBG Electromagnetic Band Gap per reduir les ones superficials mitjançant protuberàncies amb vies, però aquestes incrementen el cost de fabricació a més no permet que les antenes siguin flexibles. Per això s'utilitzen estructures sense vies, fetes de pedaços o Defected Ground Structures (DGS) Il·lustració 20, però l'inconvenient d'aquestes és que no es comporten com HIS on la fase reflectida i les ones superficials no es superposen. Com a solució utilitzen HIS perforats, que són capaços de reduir les ones superficials sobre la banda on es vol la millor reflexió de fase, per poder suprimir les ones superficials sense importar la direcció és proposa un Simetric PHIS.



Il·lustració 20: Article 4: Estructura PHIS

Les línies puntejades de la Il·lustració 20 són les dimensions del PHIS del pla de massa i els quadrats foscos els pedaços de la superfície superior.

Modificant les amplades de les perforacions o ranures es pot desplaçar la freqüència de ressonància.

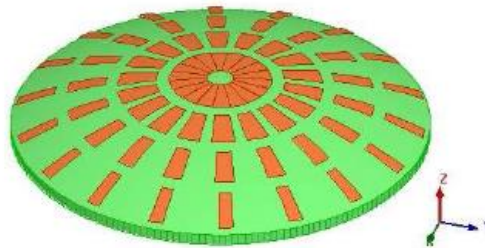
Gràcies a les SPHIS és pot eliminar les ones superficials de qualsevol direcció a diferència de les PHIS que només ho farien en una direcció.

3.1.5 ARTICLE 5 : DESIGN, SIMULATION AND ANTENNA APPLICATIONS OF SPHERICAL HIGH IMPEDANCE SURFACES [5]

Mikal Askarian Amiri, Constantine A. Balanis and Craig R. Birtcher*

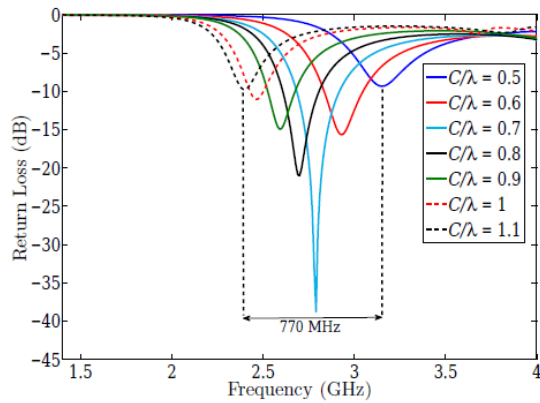
En aquest article pretenen dissenyar una estructura on l'antena és circular i està situada prop d'un HIS periòdic circular i esfèric per utilitzar-la com a pla de massa, alhora es comparen els resultats d'aquest respecte un HIS circular simètric pla.

Tret de les millores que ens aporten els HIS com el baix perfil, millores de miniaturització i de Bw, aquestes també permeten que siguin implementades en elements flexibles. La part central del HIS està formada de coure mentre que la exterior de l'esfera està formada per anells circulars que tenen buits periòdics en la direcció angular. Els paràmetres més importants són w_a (angle del pegat), θ_a l'angle de l'esclatxa, w_r (projecció de la mida radial dels pegats) i g_r (distància entre dos anells adjacents). Una mostra d'aquesta estructura és la Il·lustració 21.

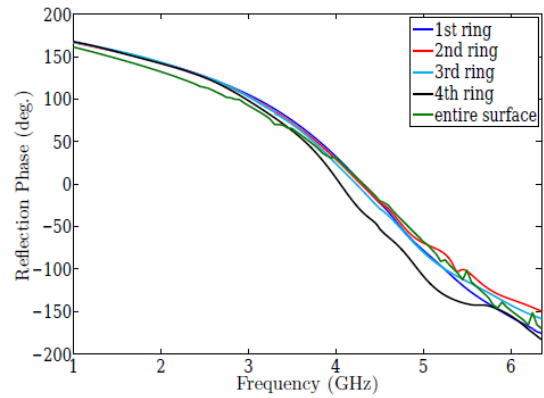


Il·lustració 21: Article 5: Estructura HIS esfèrica i circular

A la Il·lustració 23 es mostra la fase reflexada per cada anell i la de tot el HIS esfèric i a la Il·lustració 22 es mostren les pèrdues de retorn per diferents radis d'antena, on es determina l'amplada de banda del HIS quan aquesta decau -10dB.

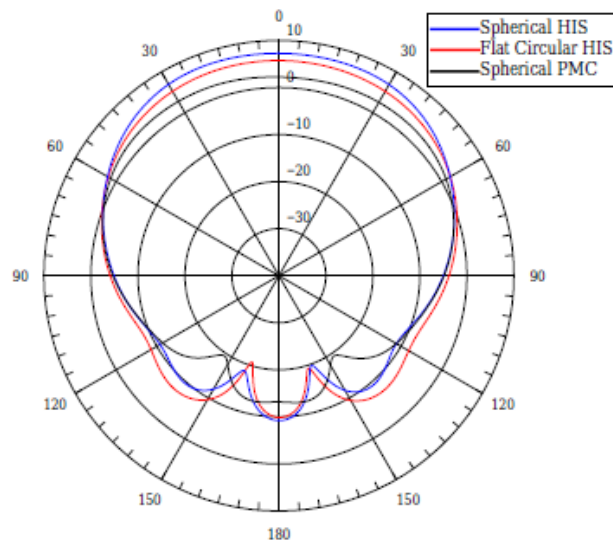


Il·lustració 23: Article 5: Pèrdues de retorn segons radis de l'antena.



Il·lustració 22: Article 5: Fase reflexada per cada anell.

A la Il·lustració 24 el diagrama de radiació del HIS esfèric amb el HIS pla i PMC situats a la mateixa distància de l'antena. Els resultats obtinguts són que el HIS esfèric radia menys guany en direcció broadside degut a la corba del pla de massa ja que l'energia es dispersa per major superfície comparada amb el HIS pla.



Il·lustració 24: Article 5: Comparativa de diagrama de radiació entre HIS esfèric, HIS circular, PMC esfèric.

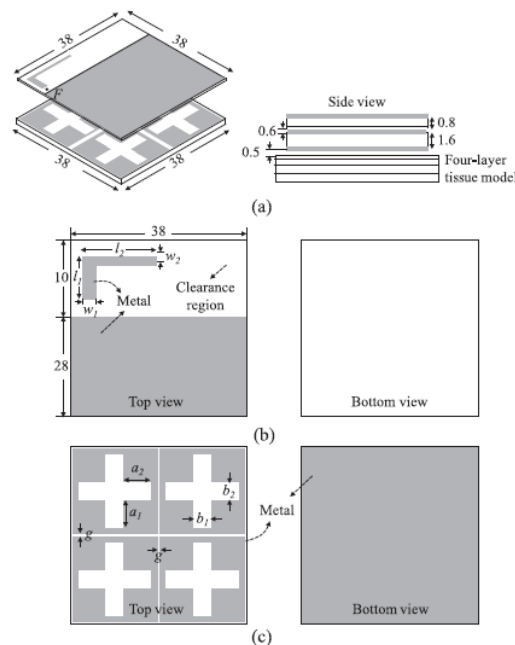
En comparació amb el PMC cal a dir que el HIS esfèric permet un guany més gran de 3 dB, aquest guany és degut a que les ones creades per l'antena es reflecteixen des del HIS esfèric.

3.1.6 ARTICLE 6 : A LOW-PROFILE WEARABLE ANTENNA USING A MINIATURE HIGH IMPEDANCE SURFACE FOR SMARTWATCH APPLICATIONS [6]

Yen-Sheng Chen and Ting-Yu Ku

Al present article es proposa miniaturitzar l'estructura formada per una antena i un HIS per smartwatch, com les antenes per smartwatch han de ser de baix perfil, directives, amb baix SAR i robusta davant el cos humà degut a que aquest altera l'eficiència de radiació (dielèctric amb altes pèrdues), els HIS són la millor opció. El problema és que elèctricament un HIS és gran i pel disseny del smartwatch s'ha de miniaturitzar mitjançant l'ús de dissenys factorials fraccional (FDD).

L'estructura mostrada a la Il·lustració 25 està formada per una part superior amb ILA (inverted L antenna), seguida d'una escuma de 0,6 mm de gruix, un HIS ranura en forma de creu de 2X2. L'anàlisi no es pot realitzar amb el mètode convencional ja que en aquest cas es tracta d'analitzar una matriu periòdica infinita d'elements, mentre que en aquest cas només es tracta d'una matriu. El que succeeix és que l'antena dissenyada treballa a 2,4GHz amb unes bones pèrdues de retorn, però un cop se li afegeix el HIS aquesta es veu modificada obtenint una mala eficiència i pic de guany sobre la freqüència de ressonància de l'antena. Per l'estudi mitjançant FDD s'utilitzen cinc paràmetres en dos nivells on les variables bàsiques són a_1 , a_2 , b_1 , b_2 i $a_1 \times a_2 \times b_1 \times b_2 = g$ són les variables afegides.



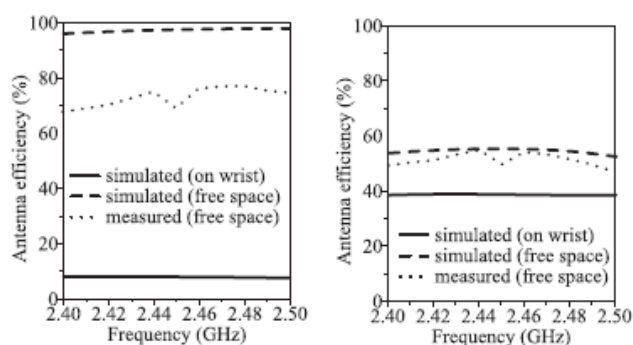
Il·lustració 25: Article 6: estructura HIS + ILA per smartwatch.

Es dissenya l'antena i s'analitzen les pèrdues de retorn juntament amb un altre model on s'insereix una pantalla LCD, bateria, caps de plàstic. També

s'analitza el seu diagrama de radiació, on la directivitat de l'ILA és de 2,2dBi mentre que l'antena proposada és de 6,3dBi, pel que fa a l'eficiència es veu com en l'espai lliure l'antena ILA té una eficiència de 95% però quan es col·loca prop del canell aquest es veu reduït fins al 10%, aquest fet indica que s'insereix molta més potencia cap al canell, en canvi amb l'afegit del HIS es mitiga aquest problema i si s'afegís un dielèctric amb menys pèrdues es milloraria però seria més costos.

Respecte el SAR es veu molt reduït més d'un 90%.

A l'esquerra Il·lustració 26 de es mostra l'eficiència d'antena mesurada i simulada sobre la referència ILA sola i a la dreta es mostra l'eficiència d'antena situada en diferents localitzacions.



Il·lustració 26: Article 6: Eficiència mesurada sobre ILA (ESQUERRA) i Eficiència d'antena en diferents localitzacions (DRETA)

En conclusió, s'ha desenvolupat una estructura amb una antena de perfil baix, altament directiva (6,3dBi) mitjançant un HIS finit i miniaturitzat fins al dia d'avui, robusta davant el teixit humà on només radia 0,29W/Kg.

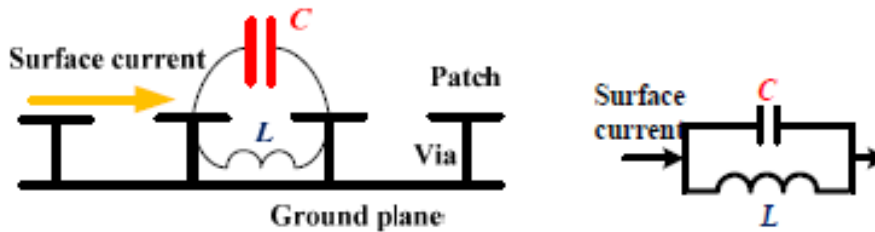
3.1.7 ARTICLE 7 : APPLICATION OF Application of High Impedance Surfaces for Surface Wave Elimination. [7]

Xing-Chang WEI, Yu-Fei SHU, Jian-Bo ZHANG.

S'estudien dos tipus de HIS per suprimir les ones superficials, una de protuberàncies tipus bolets per reduir el lòbul posterior en antenes parche microstrip i la tipus cavitat, utilitzada per reduir el soroll dintre d'una caps de metall. Comença explicant una mica el que s'ha vist fins ara dels HIS que eviten que la freqüència de ressonància de l'antena passi provocant una reflexió del senyal de manera constructiva a més d'eliminar les ones superficials, amb aquestes dues característiques els HIS s'utilitzen com a plans de massa per reduir el soroll dels circuits d'alta velocitat.

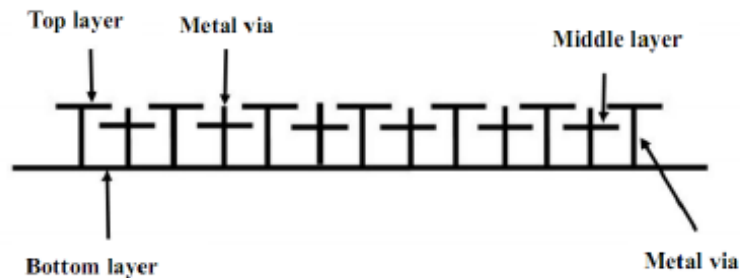
3.1.7.1 HIS TIPUS PROTUBERÀNCIES

És un dels més utilitats, la capa de superior del HIS està formada per pedaços connectats al pla de massa mitjançant VIAS, on l'espai entre pedaços es comporta com una capacitança mentre que les VIAS i el pla de massa formen una inductància, generant com un filtre LC paral·lel, on per $w < w_0 \rightarrow L < C$, fent que el corrent circuli per L suportant TM mentre que si $w > w_0 \rightarrow L > C$, es comporta com una capacitança i suporta TE, quan $w = w_0$ la impedància del HIS és infinit i elimina les ones superficials. Aquests efectes es poden veure a la Il·lustració 27 on a l'esquerra es veu el HIS i a la dreta l'efecte equivalent.



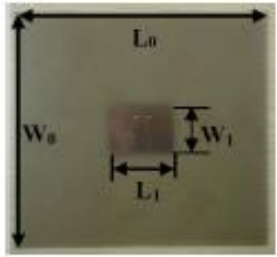
Il·lustració 27: Article 7: Efectes mushroom i circuit equivalent.

Concretament en aquesta estructura es pretén reduir el lòbul posterior en antenes de tipus pedaç que no tenen un bon guany i a més introdueixen acoblament no desitjat als circuits del voltant. Per eliminar les ones superficials i millorar les prestacions de l'antena pedaç es creen tres capes de bolets en el HIS com es mostra a continuació Il·lustració 28.



Il·lustració 28: Article 7: HIS amb mushroom de dos nivells.

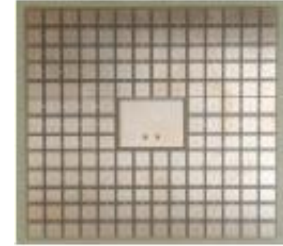
S'han dissenyat tres tipus d'antena pedaç, una rectangular sense HIS Il·lustració 29, antena pedaç rectangular amb tres llaços de cel·les HIS al voltant d'aquest Il·lustració 30 i una antena pedaç amb cinc llaços al voltant del pedaç Il·lustració 31. L'antena pedaç es per tots tres estudis igual, la freqüència de ressonància per tots tres tipus és 2,45GHz.



Il·lustració 29: Article 7: Antena Referència

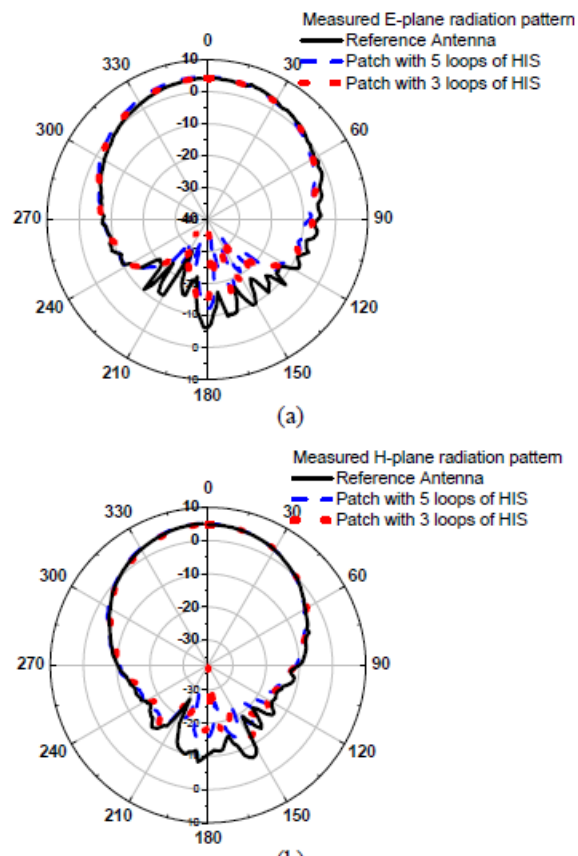


Il·lustració 30: Article 7: Antena pedaç amb tres anells de cel·les.



Il·lustració 31: Article 7: Antena pedaç amb cinc anells de cel·les.

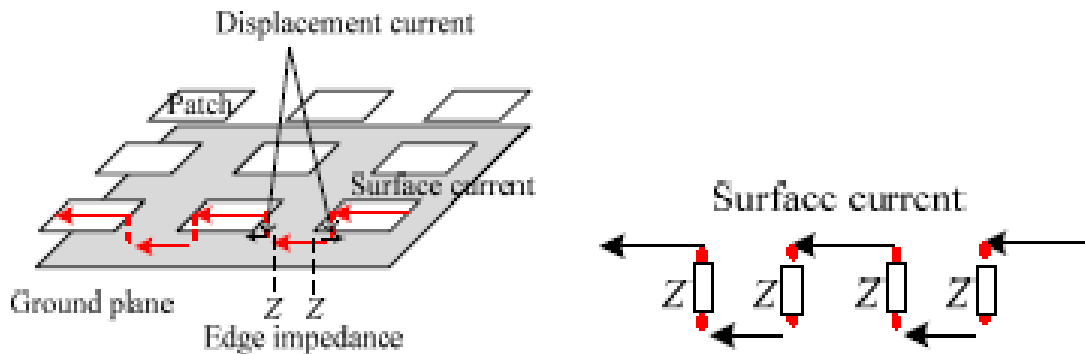
Segons els resultats obtinguts i mostrats en la Il·lustració 32 en les simulacions entre els tres tipus cal destacar dues coses, la primera que mitjançant HIS es redueix considerablement els lòbuls posteriors i la segona és que l'estructura amb 3 llargs té millors resultats, radia menys energia pel lòbul posterior que no pas el de cinc llargs, per la qual cosa tenir més llargs no significa tenir un millor resultat.



Il·lustració 32: Article 7: Diagrama de radiació de tres antenes amb HIS.

3.1.7.2 HIS TIPUS CAVITAT.

Es semblant al HIS de "bolets" tret la profunditat dels vies, el corrent en aquest cas circula pels pedaços i pel pla de massa de manera que la discontinuïtat del corrent entre el pla de massa i els pedaços és compensat pel desplaçament vertical de cada peça. Les cavitats generen una impedància que a la freqüència de ressonància fa que sigui infinita, suprimint les corrents i posteriorment les ones superficials pel HIS. Aquest tipus de HIS s'estudia per evitar l'acoblament entre el port d'entrada i sortida d'una capsula metàl·lica, com pot ser un amplificador però sobre aquest tipus de HIS no es profunditzarà ja que no s'utilitza per la aplicació que es vol parlar en aquest projecte. La superfície HIS de tipus cavitat es pot veure a la Il·lustració 33.



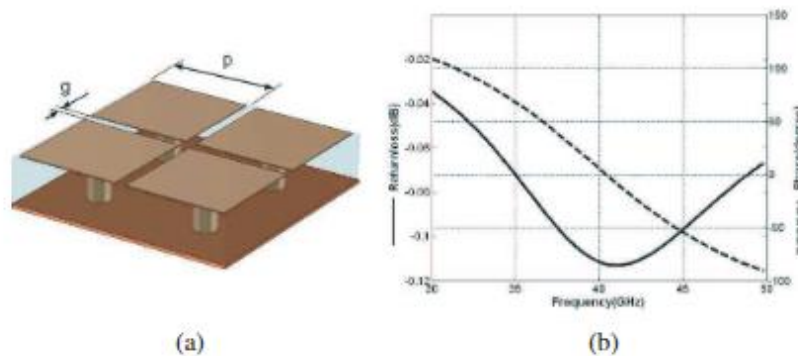
Il·lustració 33: Article 7: HIS tipus cavitat.

3.1.8 ARTICLE 8 : HIGH IMPEDANCE SURFACES BASED ANTENNAS FOR HIGH DATA RATE COMMUNICATIONS AT 40 GHz. [8]

C. M. Tran, H. Hafdallah Ouslimani, L. Zhou and A. C. Priou

En aquest article fan un estudi sobre el disseny i la fabricació d'una antena per altes velocitats al voltant de 40GHz utilitzant HIS. Es fa esmena que les comunicacions a altes velocitats s'utilitzen per estacions radar, telèfons mòbils, etc... com en els anteriors articles, es comenta que el HIS ofereix noves propietats electromagnètiques que permeten ser utilitzades en antenes i aplicacions de filtratge. Aquestes propietats fan que el HIS operi com un mur magnètic davant les ones incidents ja que tenen una alta impedància per un rang de freqüències, permetent que el pla de massa estigui molt proper a l'antena i així poder construir antenes de perfil baix per implementar-les en espais limitats.

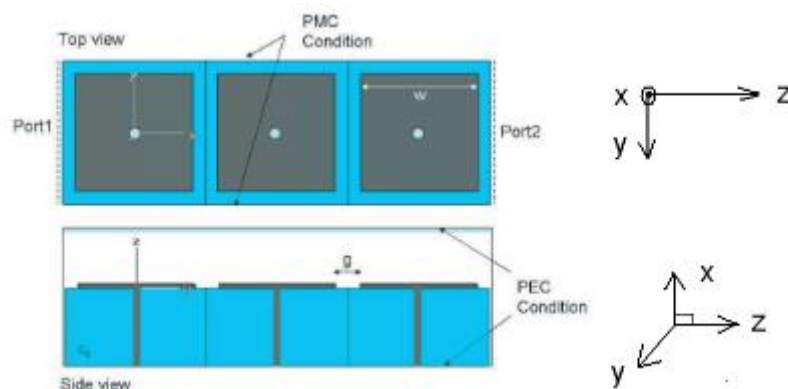
Seguint amb l'estudi d'aquest article, es presenta un HIS tipus "bolet" amb diversos dissenys d'antenes pedaç i de HIS, on l'antena microstrip a 40GHz s'envolta d'un cert nombre de files de cel·les HIS. Il·lustració 34.



Il·lustració 34: Article 8: HIS mushroom

Els HIS tipus bolet està format per pedaços connectats al pla de massa mitjançant via, amb unes certes mides on en funció d'aquestes la fase reflexada passa de 180 a -180 i el pas per zero és la freqüència de ressonància. Això succeeix perquè el HIS actua com un circuit LC on les franges del camp elèctric entre els pedaços continus formen capacitàncies mentre que els via formen inductàncies. El HIS és de mida finita i està format per N cel·les periòdiques.

L'elecció del nombre mínim de cel·les és important, de manera que realitzen l'estudi amb un HIS variant el nombre de cel·les de 1 a 6, on demostren també que l'amplada i la profunditat tenen una gran influència. Amb els resultats obtinguts de les simulacions s'ha arribat a la conclusió que per tenir una atenuació de la transmissió més elevada a -30dB s'ha de compondre un HIS amb un mínim de tres cel·les tal i com es mostra a la taula següent:

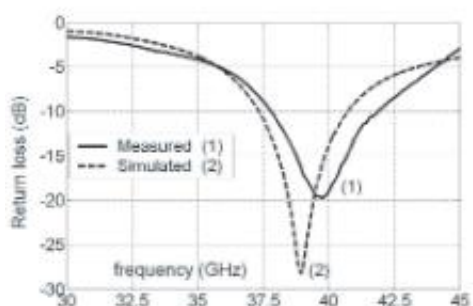


Il·lustració 35: Article 8: Estructura HIS mushroom des de dalt i de perfil.

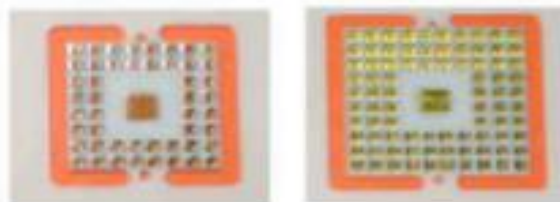
S_{21} (dB) < - 30 dB			
N	f_{c1} (GHz)	f_{c2} (GHz)	Band gap (GHz)
3	32	61	29
4	31	63	32
5	31	64	33
6	31	65	34

Taula 6: Article 8: Acoblament segons nombre de cel·les.

L'antena formada en aquest article que es pot observar a la Il·lustració 37 és una antena microstrip per opera a 40GHz i presenta les següents resultats simulats i mesurats Il·lustració 36.



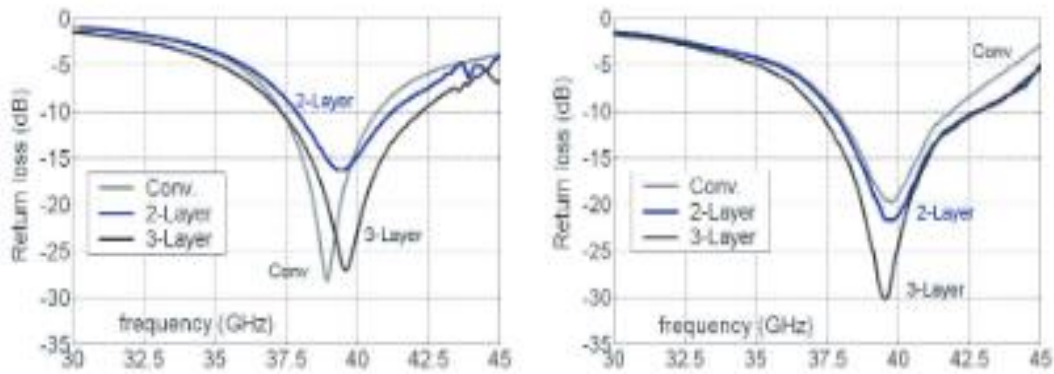
Il·lustració 36: Article 8: S11 mesurat i simulat.



Il·lustració 37: Article 8: HIS fabricat amb dos i tres anells.

Si es comparen els resultats obtinguts Il·lustració 38 amb els mesurats es pot veure com la freqüència de ressonància varia degut a les pèrdues de retorn del substrat i de les imperfeccions de fabricació.

Finalment es fabrica l'antena pedaç i es comparen els resultats en funció de si l'antena es troba sola o envoltada per cel·les de dos o tres files, aquests resultats indiquen que l'antena amb HIS té una amplada de banda més elevada. Si es segueix amb l'anàlisi entre simulacions i les mesures, s'arriba a la conclusió que la freqüència de ressonància es desplaça cap a la dreta on l'única que concordi en els tres tipus és 39,5GHz tot i que els millors resultats obtinguts s'obtenen per l'antena amb 3 files de cel·les.



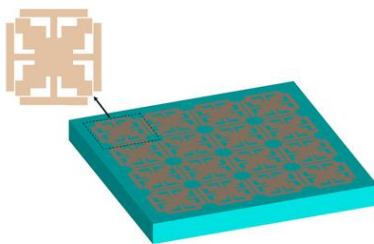
Il·lustració 38: Article 8: S11: Simulat (esquerra) i Mesurat (dreta) per dos i tres anells.

3.1.9 Article 9 : A THIN, LOW-PROFILE ANTENNA USING A NOVEL HIGH IMPEDANCE GROUND PLANE [9]

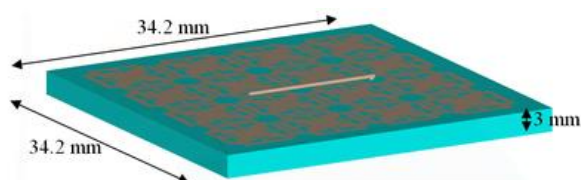
En aquest article es parla de com dissenyar una antena prima i amb baix perfil, fan esmena que actualment els dispositius de comunicacions són cada cop més petits i lleugers, és per això que es necessita dissenyar antenes de baix perfil sigui quina sigui la seva freqüència de treball ja que com es ben sabut la mida de l'antena ve determinada per la freqüència.

Per aconseguir el baix perfil s'utilitzen superfícies d'alta impedància (HIS) en lloc d'un pla de massa convencional. Es comenten tres tipus d'elements FSS i les avantatges de cadascuna d'elles (estructures FSS amb protuberàncies multibanda, elements FSS amb polarització dual, elements FSS fractals). En aquest article utilitzen un array periòdic amb elements fractals [29] [30].

Aquest HIS és útil per reduir l'acoblament en aplicacions mòbils. Primerament estudien el comportament d'un monopòl utilitzant HIS i comparant-lo sobre un dielèctric, on s'observa que millora el guany significativament 7,5dB i unes pèrdues de retorn molt bones.



Il·lustració 39: Article 9: Estructura HIS amb pedaçs fractals.



Il·lustració 40: Article 9: dimensionament perímetre HIS.

Per tal de tenir una millor implementació en mòbils és preferible utilitzar antenes planes impreses ja que són econòmiques, no afegixen volum. Pel que s'analiza el HIS davant un monopòl fil amb HIS i el monopòl imprès amb HIS, observant que s'obtenen millors resultats tant en el sentit de pèrdues de retorn com en guany per monopòls impresos.

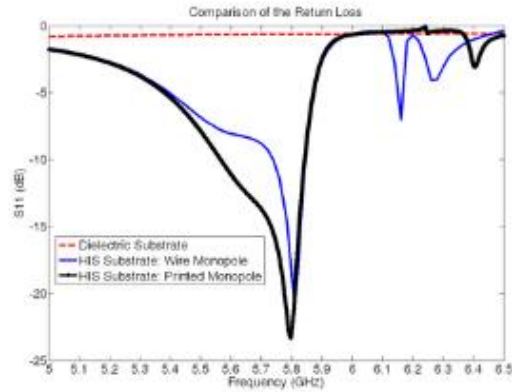
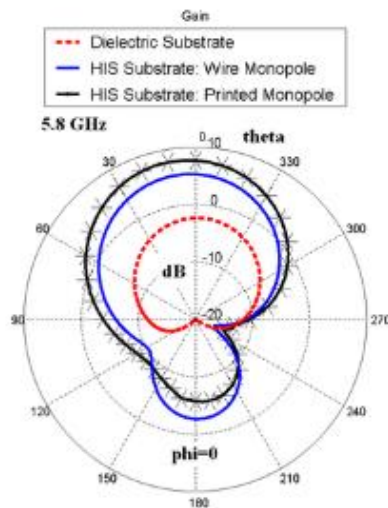


Figure 15: Comparison of return loss for printed monopole antenna



Il·lustració 41: Article 9: Comparativa S11 (dalt) i guany (baix) entre monopòl fil i monopòl imprès.

Per acabar l'últim anàlisi que es realitza en aquest article és variar les dimensions del substrat ja que per alguns dispositius mòbils és un condicionant, arribant a la conclusió que per mides més petites l'amplada de banda es modifica.

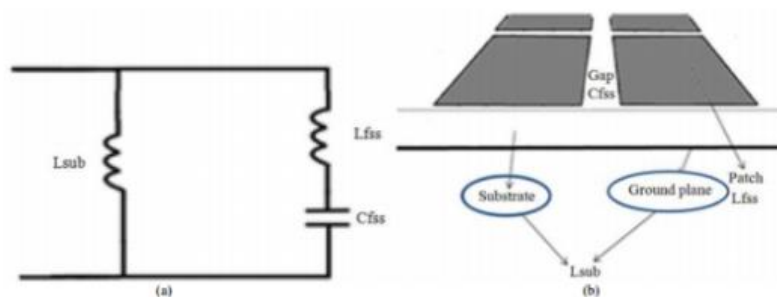
3.1.10 Article 10 : HIGH IMPEDANCE SURFACES FOR FLEXIBLE AND CONFORMAL WIRELESS SYSTEMS [10]

Haider R. Khaleel, Hussain M. Al-Rizzo, Ayman Issac and Said Abushamleh

Aquest article comença fent una petita introducció de les noves línies d'investigació, bàsicament sobre el sistemes electrònics flexibles, ja que aquests també requereixen d'antenes flexibles i és aquí on entra el HIS ja que gràcies a les seves propietats electromagnètiques permet millorar el rendiment de les antenes i sistemes de radiofreqüència.

Els últims avenços en el camp de la indústria estan centrats en desenvolupar sistemes sense fil flexibles i portàtils per tal d'implementar-los en un gran ventall d'aplicacions com son comunicacions personals, medicina, entreteniment, aeronàutica, RFID, militar,...podent-los fabricar amb materials econòmics, que es puguin miniaturitzar, siguin flexibles, permetin un baix perfil, sigui robust, amb prou amplada de banda sobre la freqüència desitjada.

Seguidament explica els dos tipus de HIS en segons les seves característiques, AMC que imita un PMC per un cert rang de freqüències fent que les ones reflecteixin 0° i EBG. Com en la majoria d'articles explica perquè s'utilitzen, el funcionament i els avantatges que permet la tecnologia HIS en comparació amb un PEC on es tendeix a curtcircuitar fent que la impedància real sigui zero i la imaginària sigui infinit i l'energia no es radiï de manera eficient. Les estructures HIS es dissenyen artificialment per tenir una bona reflexió en una certa freqüència, formades per pedaçs metàl·lics periòdics els quals s'interpreten com circuits capacitius en paral·lel amb inductàncies, així doncs la freqüència de ressonància ve determinada per les mides i geometria d'aquestes.



Il·lustració 42: Article 10: Estructura HIS i circuit equivalent.

Els primers HIS per reduir el SAR es van estudiar mitjançant mètodes numèrics i experimentals, però es va observar que la mida del disseny era gran, seguidament es van realitzar estudis en el camp de la telemedicina on es necessitaven antenes compactes i flexibles, on el HIS es va utilitzar per aïllar el cos de l'usuari respecte la radiació electromagnètica no desitjada a més de minimitzar la impedància de l'antena per les desadaptacions causades pel teixit humà.

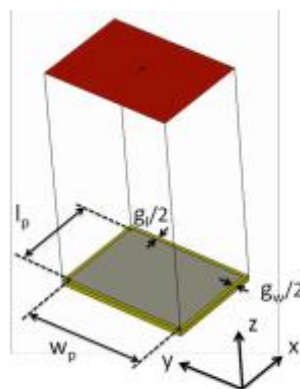
El gran repte d'aquest article és la incertesa de mantenir els paràmetres de rendiment de l'antena quan estan en elements materials flexibles, pel que s'ha d'avaluar en tots els sistemes. Així doncs es van observar els canvis en la freqüència i pèrdues de retorn per diferents longituds respecte la fase de reflexió on es va determinar l'efecte del grau de curvatura i finalment s'arriba a la conclusió que la freqüència de ressonància augmentava a més de degradar-se l'amplada de banda. Per tant, en funció d'on s'hagi d'implementar l'antena amb HIS, aquesta haurà de ser estudiada en detall ja que el grau de curvatura té una gran influència sobre les propietats d'aquesta, com la freqüència de ressonància, amplada de banda, reflexió,...

3.1.11 Article 11 : HIGH-IMPEDANCE SURFACE DESIGN CONSIDERATIONS.

En aquest article s'estudia i es proposen les consideracions a tenir en compte davant d'un disseny HIS sobre pegats, on s'observa com repercuteix el fet de modificar l'amplada d'un pegat. Amb això s'aconsegueix fer variar la impedància de la superfície generant una reflexió en fase de les ones incidents les quals permeten un augment de l'amplada de banda fins un 17% per un dipol a la seva freqüència de ressonància. A més aquest efecte permet poder implementar el HIS molt prop de l'antena.

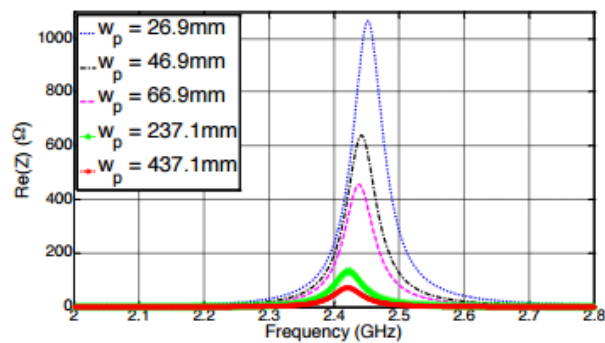
Primerament, fan una introducció del comportament dels HIS i finalment detallen i treuen conclusions de com ha afectat l'amplada del pegat en la impedància a través d'una matriu de pegats periòdics sense vies, ja que aquest tipus de HIS són més fàcils de fabricar. Per acabar s'estudia el disseny del HIS sobre un dipol.

A la introducció d'un disseny clàssic de HIS fan una introducció del comportament d'un peça individual comentant que l'efecte que caracteritza aquests elements és la seva reflexió en fase, amb això es refereix al punt on la fase passa per 0 en el canvi de 90° a -90° .

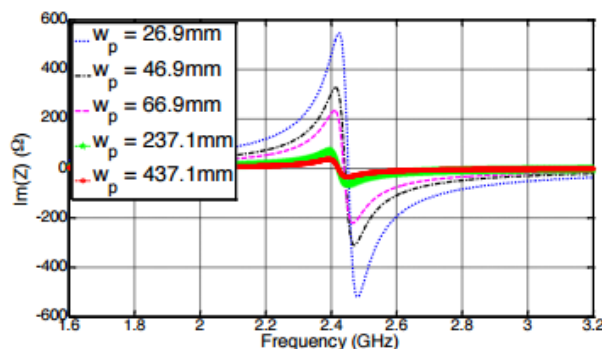


Il·lustració 43: Article 11: Dimensions de la unitat de cel·la i peça

A continuació s'analitza la relació de les impedàncies reals i imaginàries del HIS variant la seva amplada un rang entre 26,9 mm i 437,1 mm s'observa com la freqüència de ressonància és la mateixa tant per la part real com per la part imaginària (correspon al pas per zero) i l'únic que varia és la impedància. Conforme menys amplada té, més impedància ($w_p=26.9$ mm \rightarrow impedància real 1070 ohms) en canvi com més amplada, menys impedància (437,1 mm \rightarrow 70 ohms). Així doncs mitjançant l'amplada del peça es pot jugar amb la impedància de manera que correspongui a la mateixa que la del dipol. El peça es pot observa a la Il·lustració 43

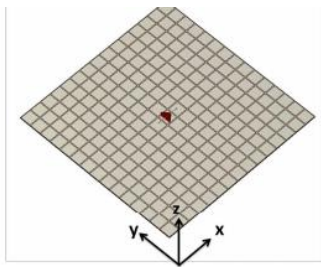


(a)

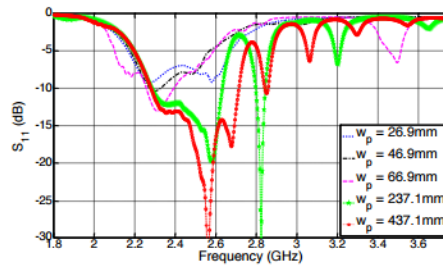


Il·lustració 44: Article 11: Impedància real (dalt) i Impedància imaginària (baix) per segons l'amplada del peça

Per acabar col·loquen un dipol que treballa a una freqüència de ressonància de 2,45Ghz sobre un HIS de 15x15 Il·lustració 45 pedaços i els resultats que s'obtenen són, la relació d'impedància entre el dipol i el HIS és pobre i el coeficient de reflexió és de -10dB, que incrementant l'amplada dels pedaços s'ajusta la impedància que es pot fer concordar amb la del dipol sense incrementar el perfil de l'estructura. L'efecte de variar l'amplada del peça es pot observar a la Il·lustració 46



Il·lustració 45: Article 11: Estructura HIS de 15x 15 amb dipol.



Il·lustració 46: Article 11: Pèrdues de retorn per varies amplades de peça

3.2 CONCLUSIONS

En aquest apartat s'ha realitzat una cerca d'articles relacionats amb la tecnologia HIS (High Impedance Surface), el principal avantatge que ens aporta aquesta tecnologia és millorar les prestacions de les antenes en certes situacions sobretot en el cas que una antena s'hagi de situar molt prop d'un element altament conductor, per evitar acoblament entre antenes, etc.

A través dels articles tractats es pot veure com hi ha diversos tipus de HIS, mitjançant un array de protuberàncies, col·locant un element periòdic entre dos dielèctrics i amb diferents formes,...

Els principals beneficis que ens aporta HIS quan es col·loca prop d'una antena són una millor amplada de banda, una millor eficiència, més guany i menor radiació per la part posterior, a més de reduir el perfil de l'antena en cas que es posés prop d'un PEC ja que aquest acostuma a estar a $\lambda/4$, on λ_0 és la freqüència de ressonància.

Tots aquests beneficis s'aconsegueixen gràcies a que mitjançant simulacions i estudis es determinen les mides dels elements radiants que constituïran l'array fent que aquest elimini les ones superficials a la freqüència de ressonància de l'antena, comportant-se com un mur magnètic i fent que les ones reflectides amb una fase constructiva per aquesta freqüència, ja que hi ha un punt en que la fase passa de 180 graus a -180 i el pas per zero correspondria a la freqüència de ressonància d'aquell HIS el qual hauria de ser el mateix que la freqüència de l'antena.

CAPITOL 4
ANÀLISI D'ESTRUCTURES EBG

4 ANÀLISI D'ESTRUCTURES EBG.

En el present capítol s'ha seleccionat una sèrie d'articles relacionats amb estructures HIS i EBG, l'objectiu es reproduir, simular, modificar l'antena, distàncies d'aquests amb el pla de massa, etc. per veure com es comporten davant altres escenaris. De manera que finalment permetin discutir els resultats obtinguts en cada cas els quals no estan reflexats en els articles. En tots els escenaris dels articles es simularà l'estructura per analitzar les pèrdues de retorn, la carta de Smith per veure la impedància de l'estructura i sobretot les eficiències tant d'antena com de radiació.

L'eficiència d'antena ve donada per la següent equació:

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

Equació 2: Eficiència de radiació

L'eficiència de radiació ve donada per la següent equació, on es pot observar que l'eficiència d'antena depèn de l'eficiència de radiació i de les pèrdues de retorn ($1 - |S_{11}|^2$).

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

Equació 3: Eficiència d'antena.

4.1 ESTUDI 1: Design of a Broadband Dipole in Close Proximity to an EBG Ground Plane. [14]

Steven R. Best and Drayton L. Hanna

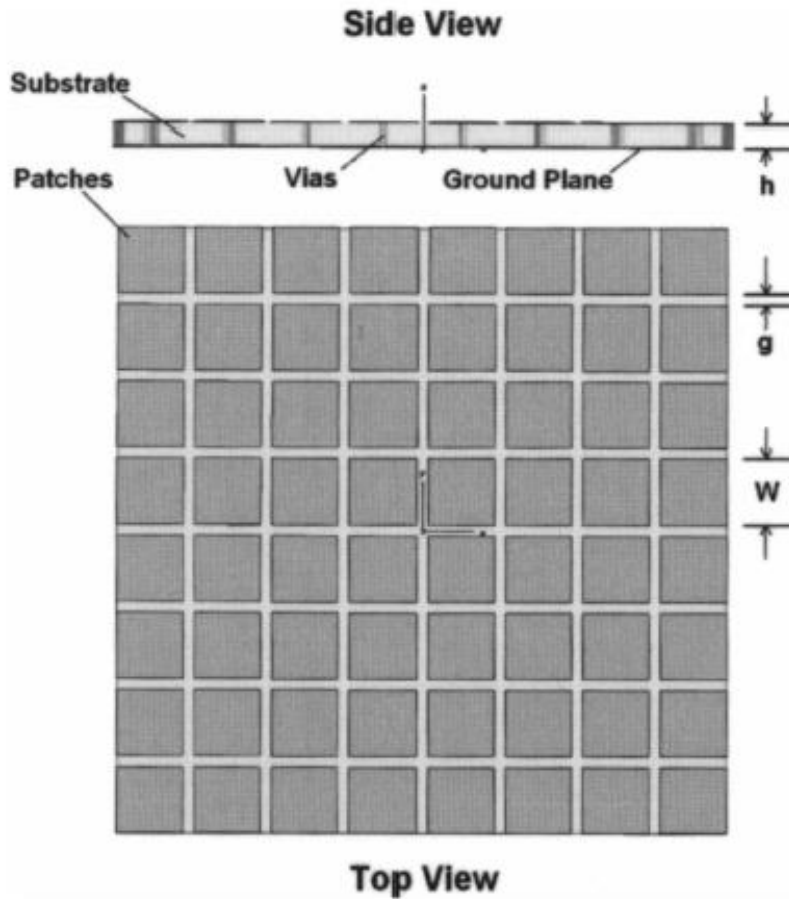
En aquest estudi es tracta l'article: Design of a Broadband Dipole in Close Proximity to an EBG Ground Plane de *Steven R. Best and Drayton L. Hanna*, aquest article treballa a altes freqüències però a l'hora de les simulacions tracten amb una freqüència de 300MHz de manera que tant la longitud d'ona és d'un metre. El dipol que s'utilitza té una mida de $0,48 \cdot \lambda$, per tant tindrà una llargada de 480mm i $0,005 \cdot \lambda$ de radi.

Inicialment, el dipol es situarà a 20 mm de l'estructura EBG, posteriorment per realitzar un anàlisi més profund de l'estructura EBG s'ha decidit col·locar-ho a 2 mm d'aquesta, dit d'una altra manera, el dipol quedarà a 42 mm del pla de massa.

L'estructura EBG utilitzada es tracta d'un array de pedaços connectats al pla de massa mitjançant via, les seves mides són les indicades a la següent taula:

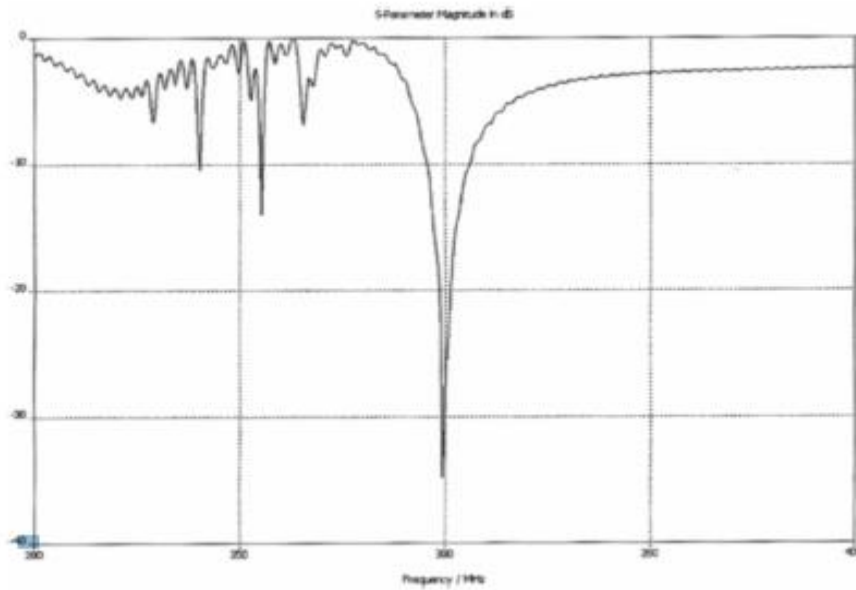
MIDES EBG	
Amplada del pedaç (W)	$0,12 \cdot \lambda_0 = 120\text{mm}$
Espai entre pedaços (G)	$0,02 \cdot \lambda_0 = 20\text{ mm}$
Gruix substrat (h)	$0,04 \cdot \lambda_0 = 40\text{mm}$
Radi de la VIA	$0,005 \cdot \lambda_0 = 5\text{ mm}$

Taula 7: Estudi Mides d'EBG amb VIA



Il·lustració 47: Estructura EBG de pedaços amb vies

Segons l'article les pèrdues de retorn per aquesta estructura són les que es mostren a la Il·lustració 48, on s'observa que a 300MHz hi ha unes pèrdues de retorn molt petites de fins a -30 dB.



Il·lustració 48: S11 - Per EBG amb protuberàncies mushroom a 300MHz.

4.1.1 SIMULACIONS

Mitjançant l'estructura esmentada anteriorment s'han definit cinc escenaris per analitzar el seu comportament que són els que es mostren a continuació.

4.1.1.1 ESCENARI 1: ESPAI LLIURE

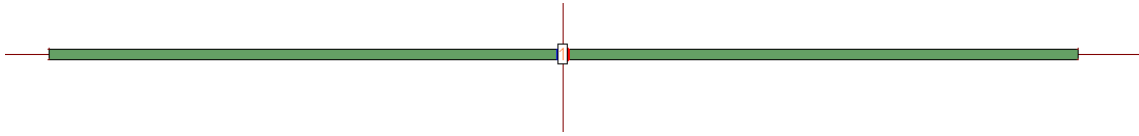
Abans que res, s'ha estudiat la freqüència de ressonància del dipol en l'espai lliure, aquest escenari es tracta de col·locar el dipol envoltat d'aire i realitzar les simulacions que es detallen a continuació.



Il·lustració 49: Escenari dipol lliure a 300MHz.

4.1.1.1.1 ESTRUCTURA

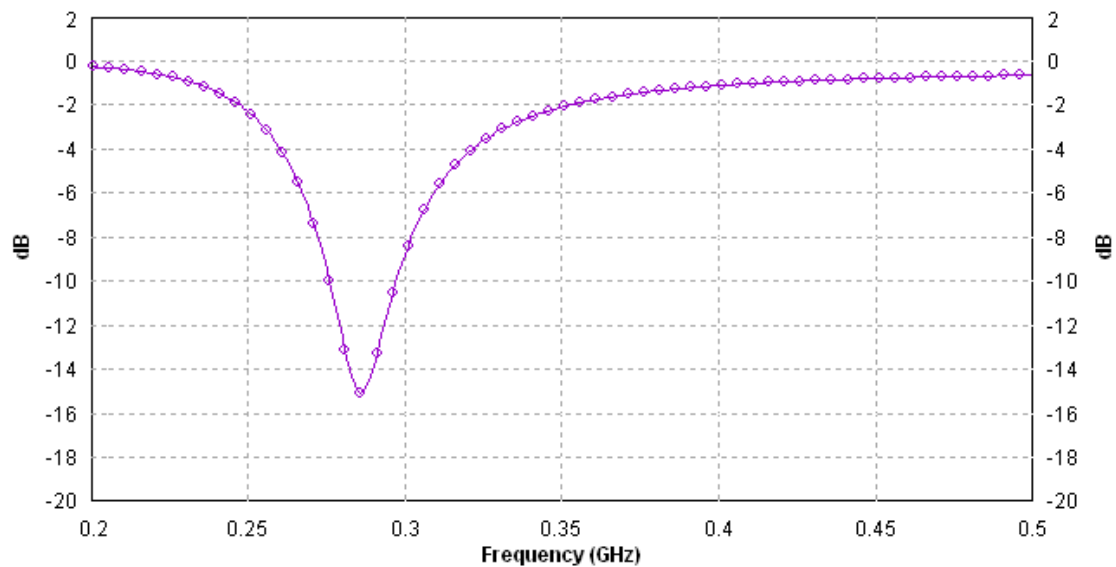
A la següent figura es pot trobar el dipol creat en IE3D segons les indicacions de l'article.



Il·lustració 50: Dipol en IE3D - espai lliure 300MHz

4.1.1.1.2 PERDUES DE RETORN

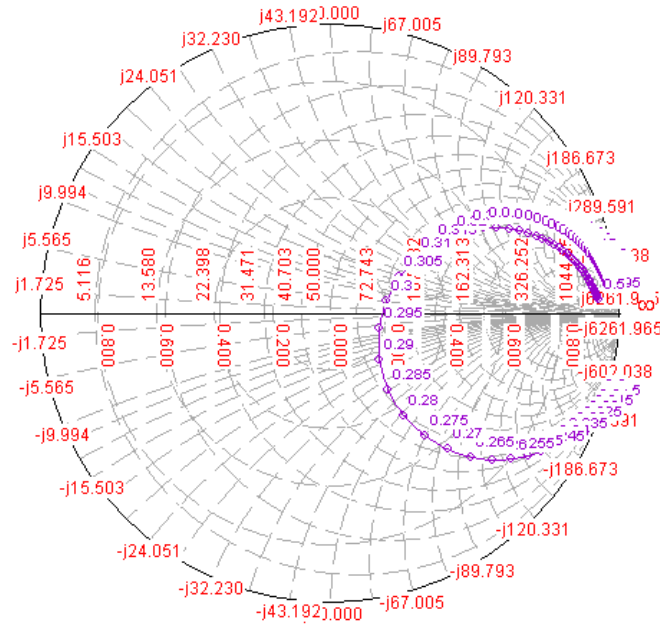
A la Il·lustració 51 s'hi pot observar com la freqüència de ressonància del dipol generat es troba sobre els 290MHz.



Il·lustració 51: S11 - Dipol en espai lliure - IE3D - 300MHz

4.1.1.1.3 CARTA SMITH

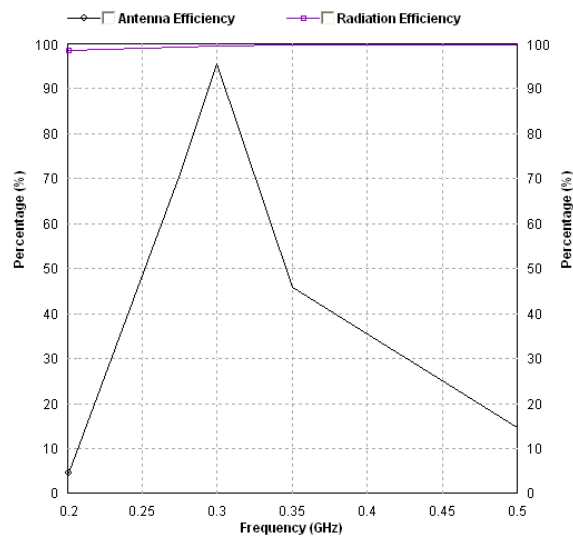
La carta de Smith ens permet observar si l'estructura està adaptada o no, a la Il·lustració 52 s'indica que l'estructura està adaptada al voltant de la freqüència de 295MHz.



Il·lustració 52: Carta Smith - Dipol 300MHz en espai lliure - IE3D

4.1.1.1.4 EFICIÈNCIA

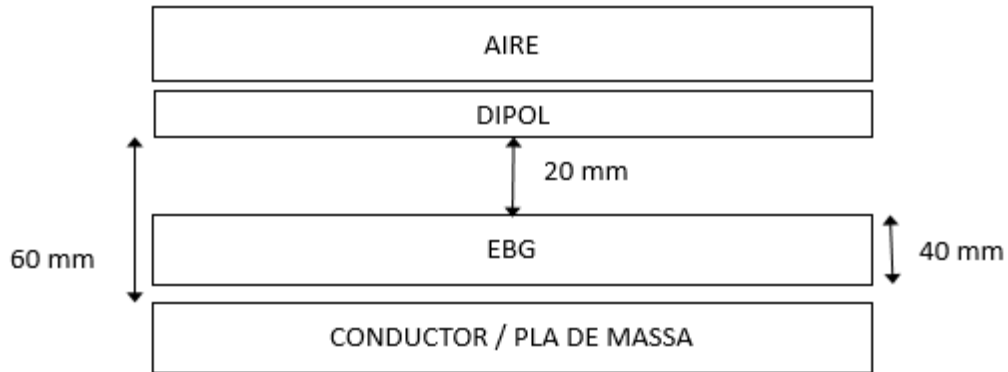
Pel que fa l'eficiència es pot observar en la Il·lustració 53 com per aquesta estructura hi ha una eficiència de radiació del 100% pràcticament en totes les freqüències, en canvi, l'eficiència d'antena que està relacionada amb les pèrdues de retorn té el pic a 300MHz.



Il·lustració 53: Eficiència d'antena i de radiació del dipol a 300MHz.

4.1.1.2 ESCENARI 2: DIPOL a 60 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG

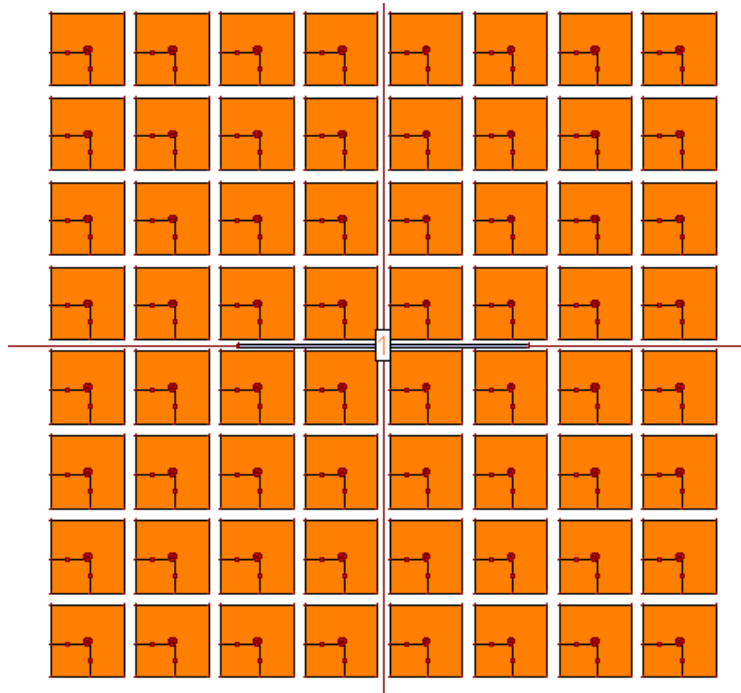
En aquest escenari s'ha situat el dipol a 60mm del pla de massa i entre mig s'hi troba l'EBG sobre un dielèctric de 40 mm d'alçada.



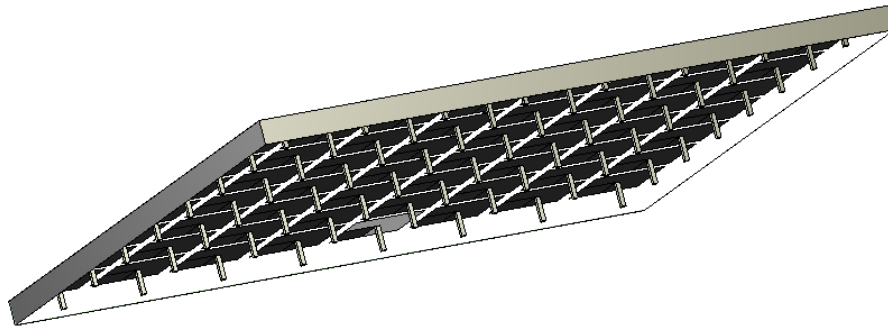
Il·lustració 54: Diagrama escenari: dipol a 60mm Ground Plane + EBG a 40 mm

4.1.1.2.1 ESTRUCTURA

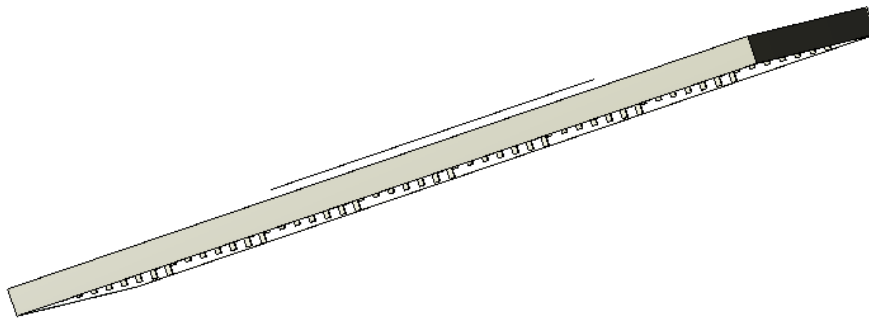
La Il·lustració 55 mostra l'estructura vista des de dalt al IE3D, on s'hi poden observar els pedaços del EBG i el dipol al centre.



Il·lustració 55: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 60 mm de pla de massa més EBG a 40mm del pla de massa.



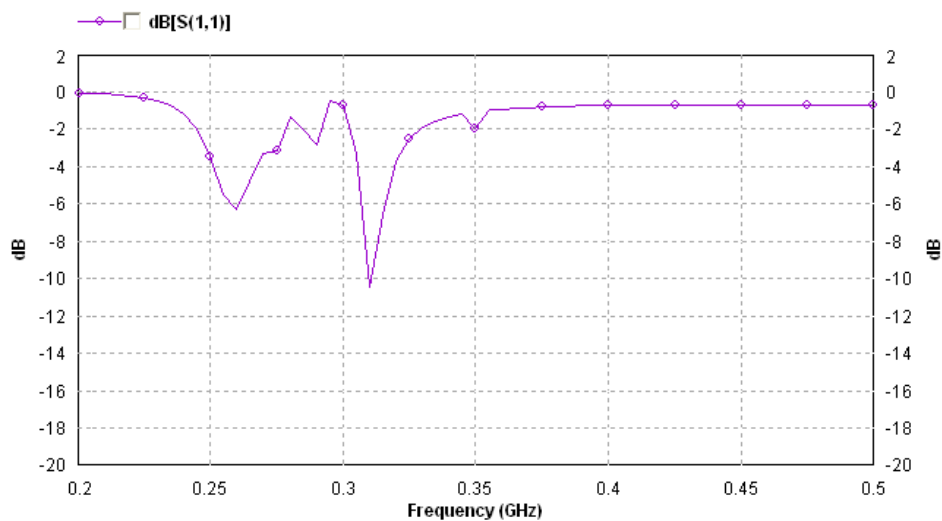
Il·lustració 56: Vista en 3D des de sota de l'EBG amb IE3D



Il·lustració 57: Vista 3D del lateral de EBG + dipol.

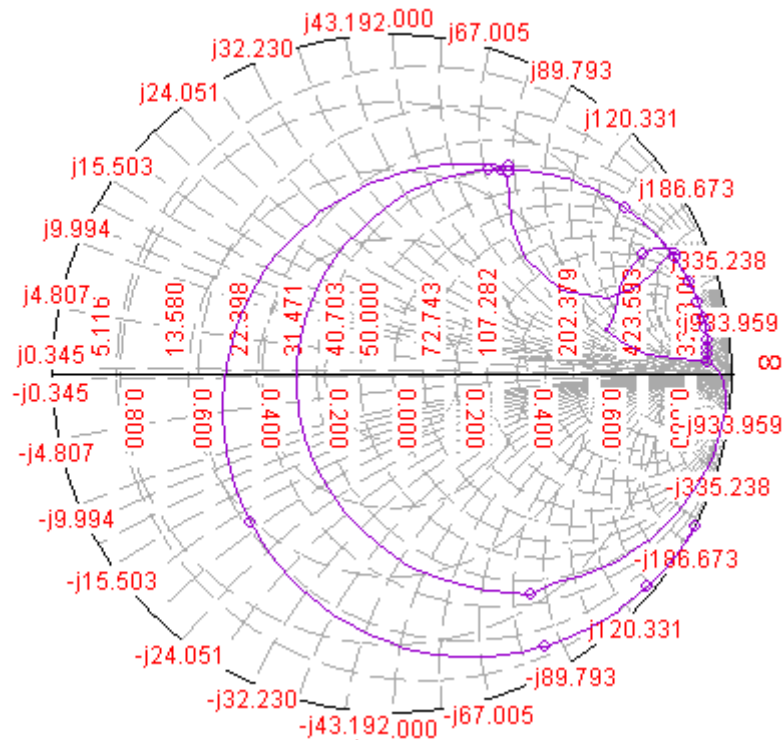
4.1.1.2.2 PERDUES DE RETORN

La Il·lustració 58 mostra les pèrdues de retorn de tota l'estructura EBG, on es pot veure que al col·locar dipol relativament prop d'un conductor o pla de massa, la seva freqüència de ressonància es veu desplaçada aproximadament uns 10 MHz a més de reduir fins a 4dB les pèrdues de retorn respecte les del dipol en espai lliure.



Il·lustració 58: S11 de dipol a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.

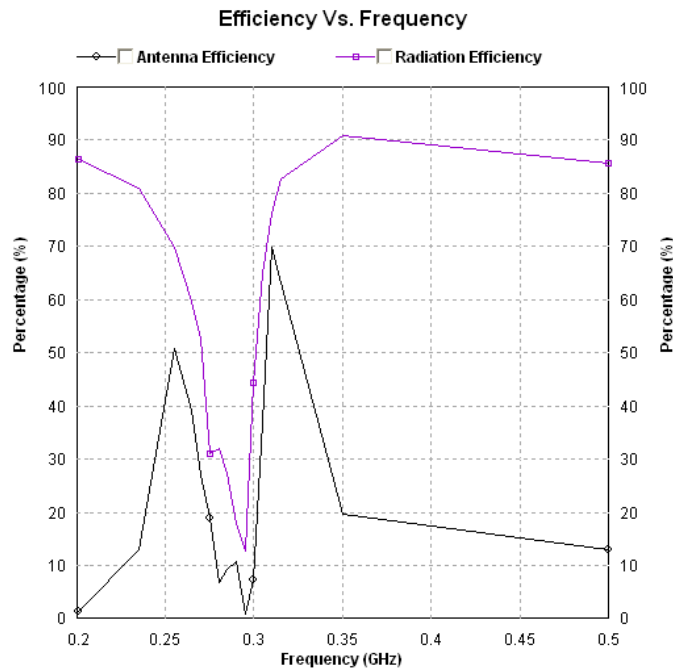
4.1.1.2.3 CARTA SMITH



Il·lustració 59: Carta de Smith de dipol a 60mm de pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.

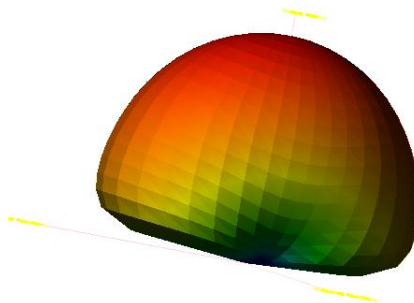
4.1.1.2.4 EFICIÈNCIA

Mitjançant el dipol més l'estructura EBG a la Il·lustració 60 s'observa com l'eficiència de radiació cau fins al 10% fent que l'eficiència d'antena també es vegi reduïda considerablement, tot i que aproximadament als 310MHz l'eficiència de radiació torna a créixer fins al 80% i juntament amb ella l'eficiència d'antena arriba fins al 70%.



Il·lustració 60: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 60mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

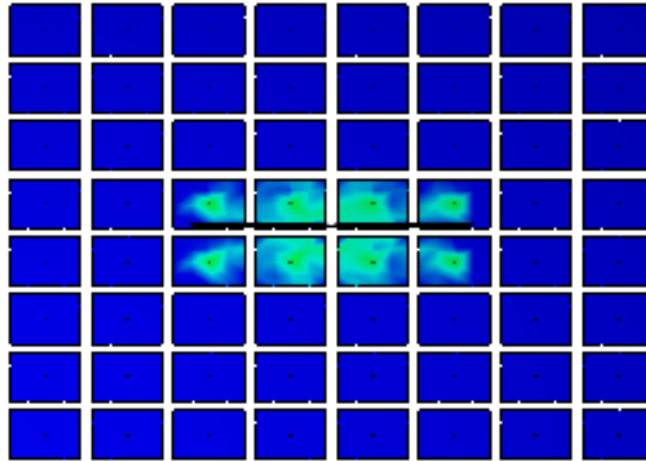
4.1.1.2.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ



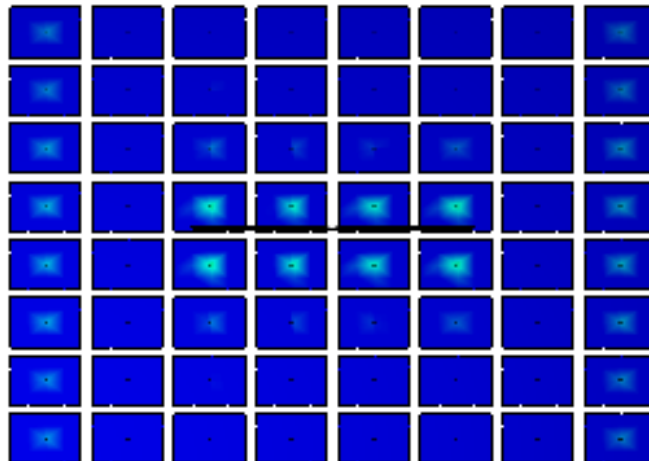
Il·lustració 61: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.

4.1.1.2.6 CORRENT

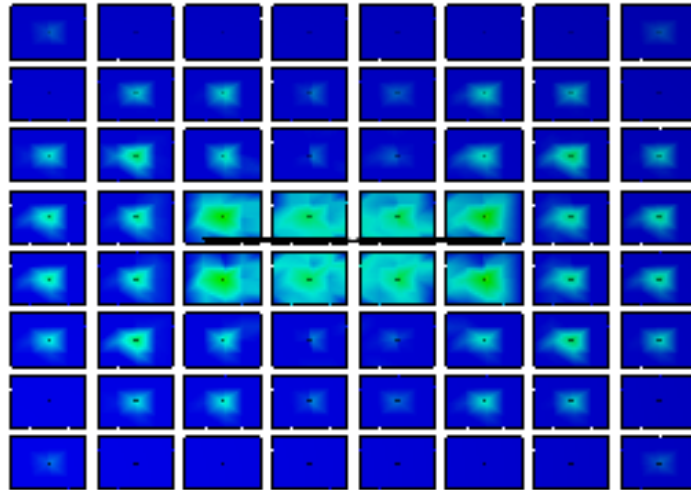
A les següents il·lustracions es mostra el corrent que circula per l'estructura en funció de la freqüència, primerament a la Il·lustració 62 s'hi observa com hi ha algunes cel·les il·luminades en canvi a la Il·lustració 63 s'observa com hi ha moltes cel·les il·luminades amb corrent però a la freqüència on hi ha la millor eficiència d'antena que és sobre els 310 MHz – 320MHz Il·lustració 64 s'observa com l'estructura està molt més il·luminada.



Il·lustració 62: Corrent a 200MHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.



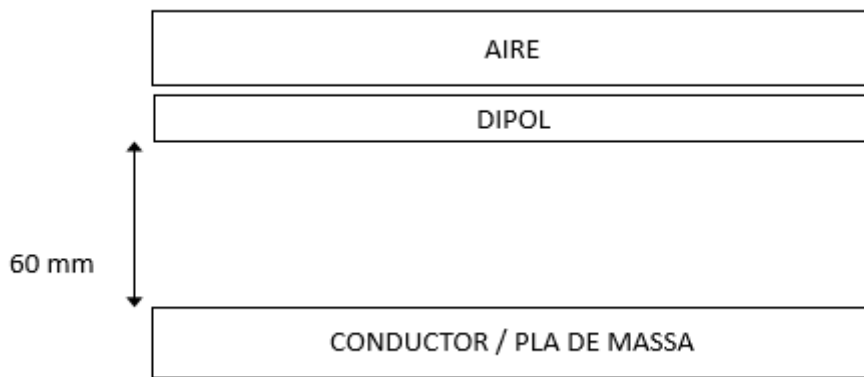
Il·lustració 63: Corrent a 310MHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.



Il·lustració 64: Corrent a 325MHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

4.1.1.3 ESCENARI 3 DIPOL a 60 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

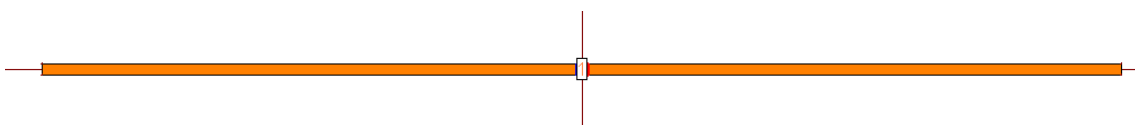
El següent que es realitza és l'estudi de l'estructura sense el EBG tal i com mostra els següent diagrama Il·lustració 65, hi ha un element conductor i a 60 mm s'hi ha col·locat el dipol.



Il·lustració 65: Diagrama de Dipol a 60 mm del pla de massa sense EBG

4.1.1.3.1 ESTRUCTURA

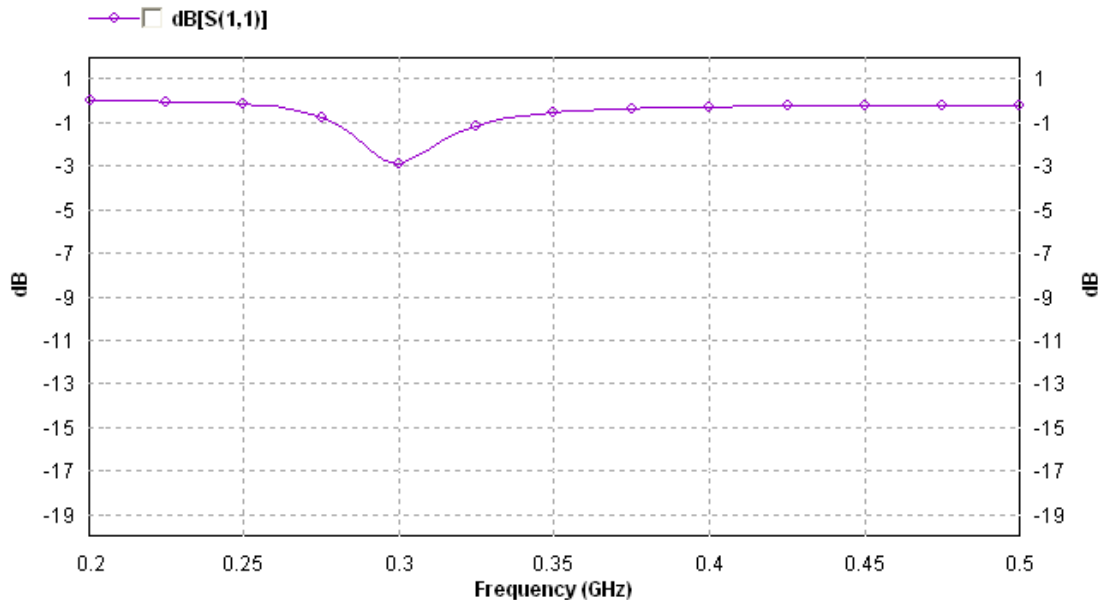
A la Il·lustració 66 s'hi pot veure el dipol generat en IE3D.



Il·lustració 66: vista des de dalt Dipol a 60 mm del pla de massa sense EBG generat en IE3D

4.1.1.3.2 PERDUES DE RETORN

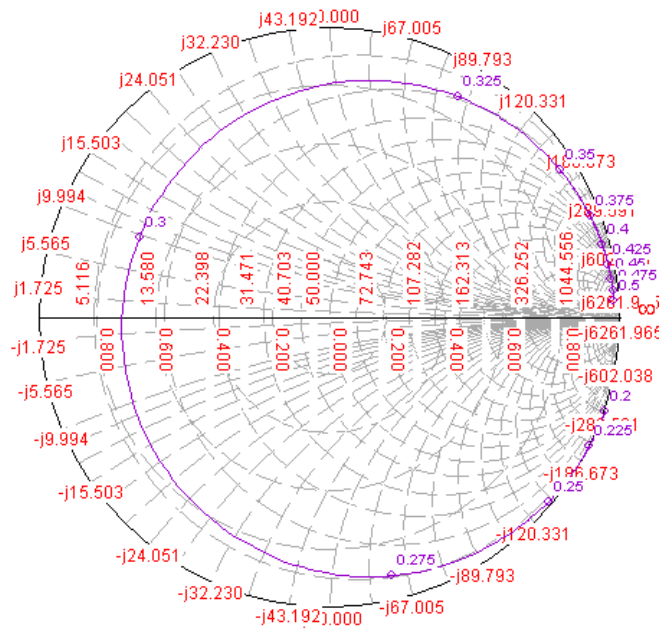
A la següent imatge (Il·lustració 67) s'hi observa les pèrdues de retorn per l'escenari que s'està tractant, on es pot veure que les pèrdues de retorn a 300MHz són molt petites sobre uns -3 dB cosa que no interessa gens, a més d'afegir que la freqüència de ressonància s'ha desplaçat respecte el dipol en espai lliure entre uns 5 i 10 MHz.



Il·lustració 67: S11 simulat amb IE3D de dipol a 60 mm de pla conductor sense EBG.

4.1.1.3.3 CARTA SMITH

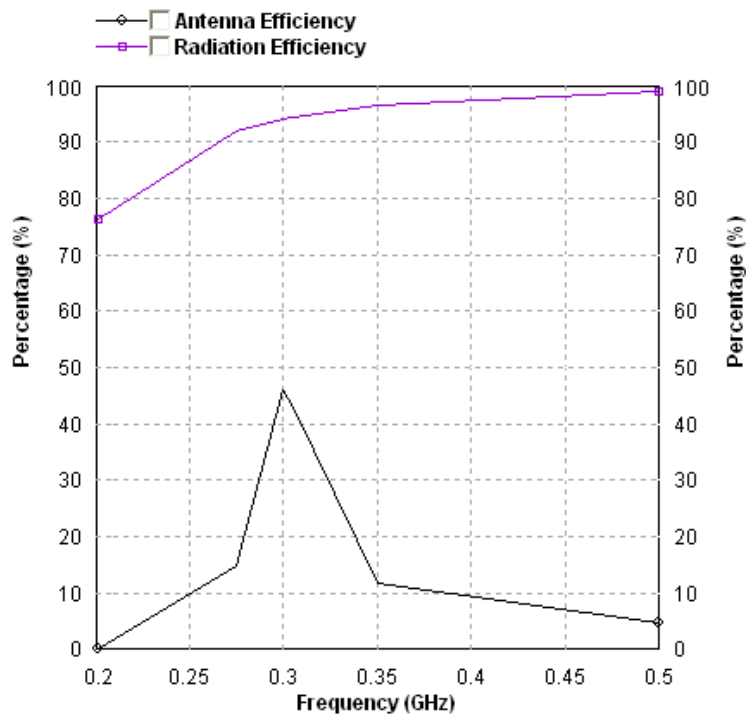
A la carta de Smith es pot observar com cap freqüència està dintre del ROE=3, això indicaria que l'antena està adaptada, de manera que en aquest cas l'antena no està gens adaptada, el punt on més s'aproxima és per 300MHz igual que s'ha mostrat en les pèrdues de retorn.



Il·lustració 68: Carta de Smith simulada amb IE3D del dipol a 60 mm del pla de massa sense EBG.

4.1.1.3.4 EFICIÈNCIA

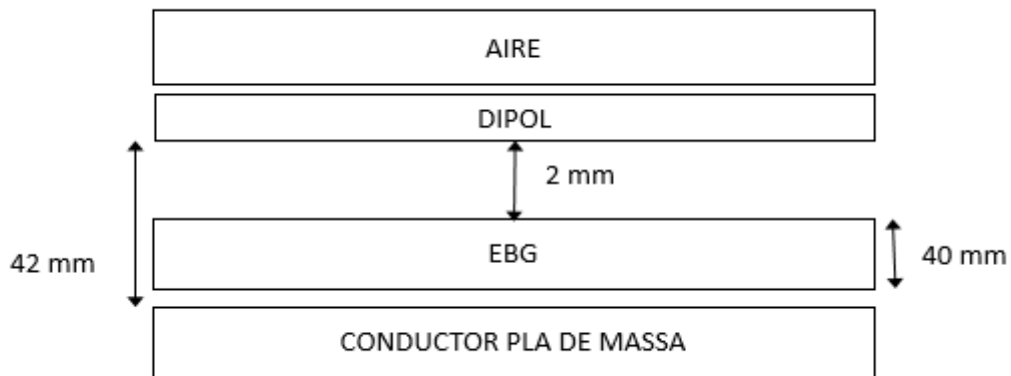
En aquest escenari l'eficiència de radiació també es veu afectada tot i que en menor porció que l'eficiència d'antena, que com es pot veure a 300MHz hi ha un 50% d'eficiència d'antena.



Il·lustració 69: Eficiència de radiació i d'antena simulades amb IE3D per un dipol a 60mm del pla de massa sense EBG.

4.1.1.4 ESCENARI 4 DIPOL a 42 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG

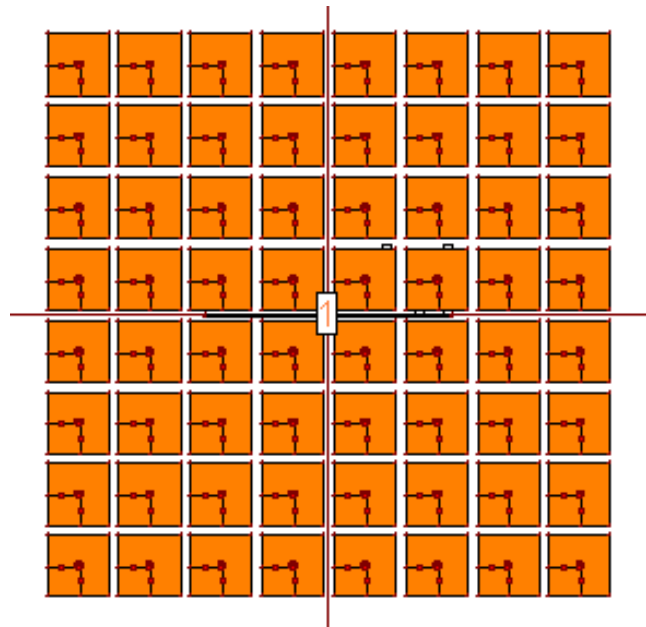
En aquest escenari es realitza el mateix estudi que en l'escenari 1 però en aquest cas s'ha reduït l'espai entre el EBG i l'antena fins a 2 mm, per tant a 42 mm del pla de massa, aquest plantejament es pot veure al següent diagrama Il·lustració 70



Il·lustració 70: Diagrama de dipol a 42 mm de pla de massa amb EBG a 40 mm de pla de massa.

4.1.1.4.1 ESTRUCTURA

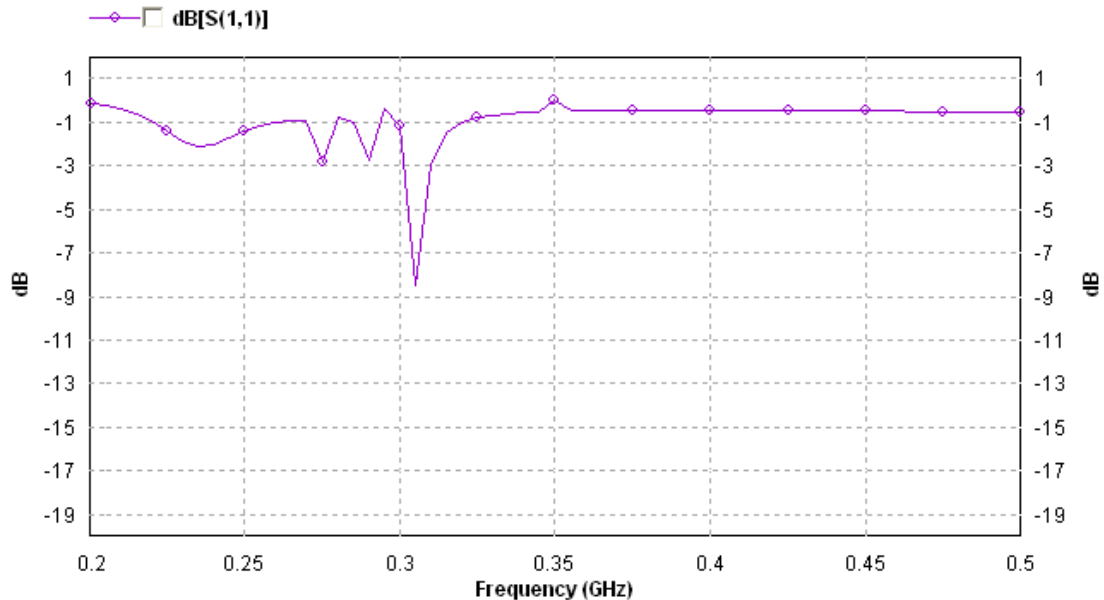
La Il·lustració 71 mostra l'estructura vista des de dalt al IE3D, on s'hi poden observar els pedaços del EBG i el dipol al centre.



Il·lustració 71: Estructura en IE3D de dipol a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa

4.1.1.4.2 PERDUES DE RETORN

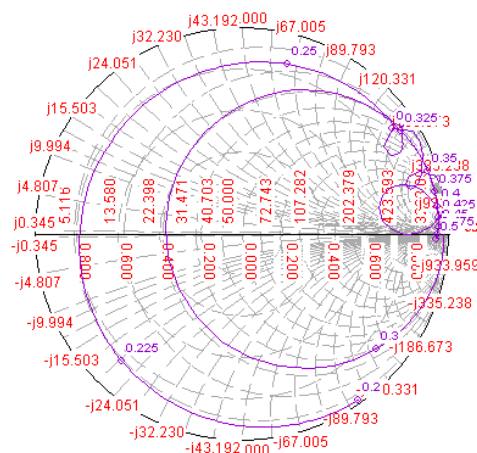
La Il·lustració 72 mostra les pèrdues de retorn de tota l'estructura EBG, on es pot veure que al col·locar el dipol encara més prop d'un conductor i l'EBG, la seva freqüència de ressonància es veu desplaçada aproximadament uns 10 MHz a més de reduir fins a 5dB les pèrdues de retorn respecte les del dipol en espai lliure i la seva amplada de banda.



Il·lustració 72: S11 simulat en IE3D de dipol a 42 mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.

4.1.1.4.3 CARTA SMITH

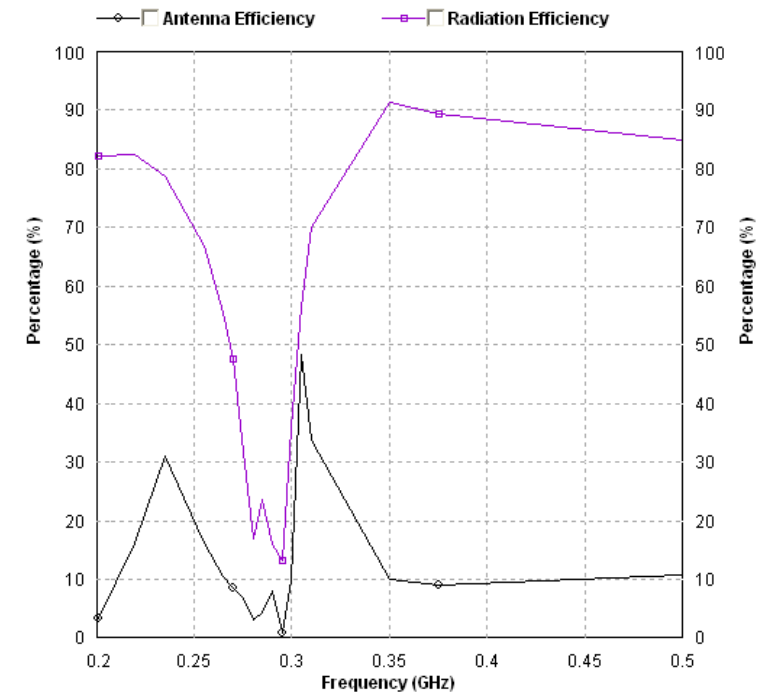
Com es pot observar en la Il·lustració 73 succeeix el mateix que en l' estudi anterior, on es pot veure que per certes freqüències l'estructura està prop del ROE = 3 i està adaptada. La freqüència més propera seria aproximadament als 310MHz.



Il·lustració 73: Carta Smith simulada amb IE3D per dipol a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

4.1.1.4.4 EFICIÈNCIA

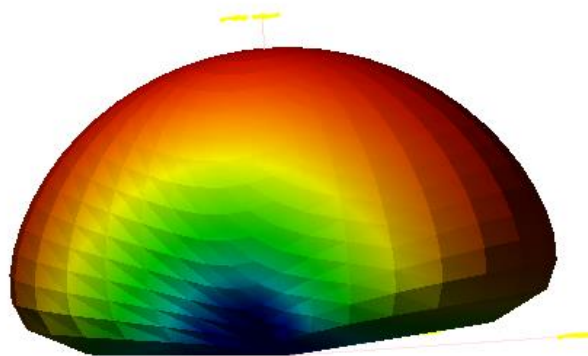
Pel que fa a l'eficiència l'Il·lustració 74 d'aquest escenari s'observa com la eficiència de radiació es veu molt afectada fins al punt de limitar l'eficiència d'antena als 310MHz on es té un 50%.



Il·lustració 74: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un dipol a 42 mm del pla de massa i un EBG a 40 mm del pla de massa.

4.1.1.4.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ

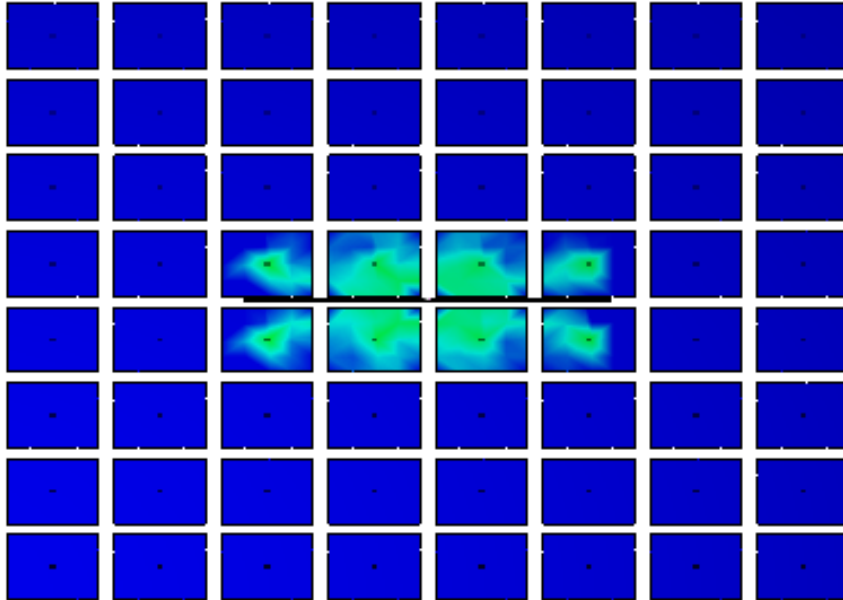
El diagrama de radiació per aquest escenari, on s'observa que la radiació posterior és veu reduïda.



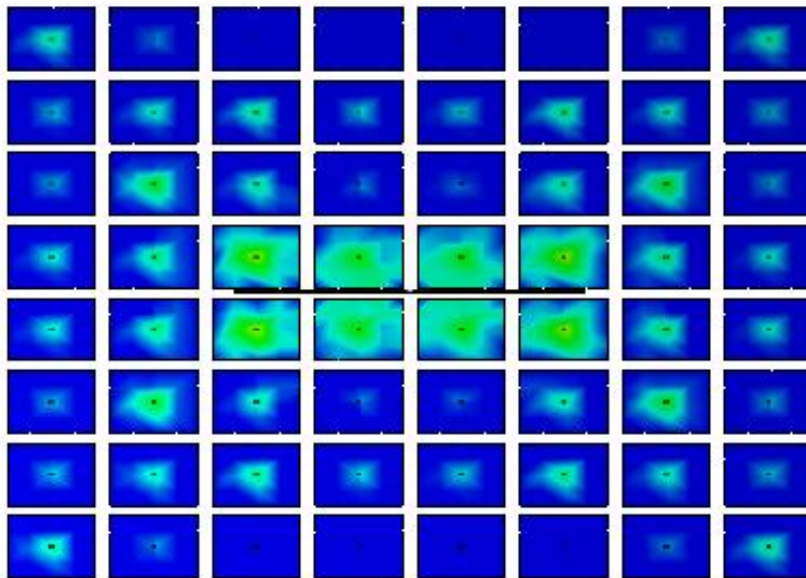
Il·lustració 75: Diagrama de radiació amb IE3D, dipol a 42 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

4.1.1.4.6 CORRENT

Pel corrent a 200MHz, (Il·lustració 76) s'observa com hi ha molt poques cel·les il·luminades però en canvi per 301 MHz Il·lustració 77, hi ha més cel·les il·luminades.



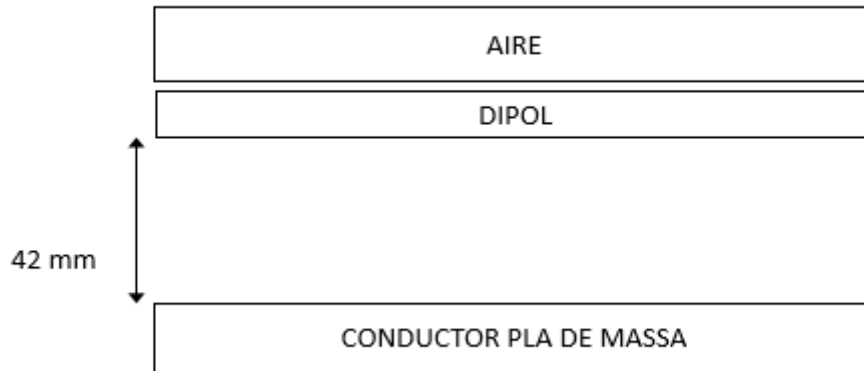
Il·lustració 76: Corrent dipol a 200MHz simulat amb IE3D



Il·lustració 77: Corrent a 310 MHz simulat amb IE3D

4.1.1.5 ESCENARI 5 DIPOL a 42 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

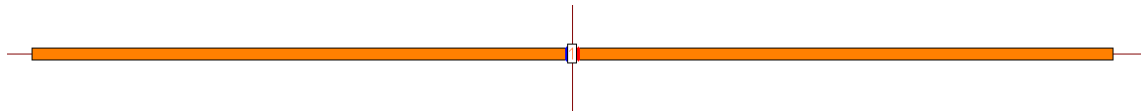
En aquest escenari s'ha tret l'estructura EBG respecte l'escenari anterior tal i com es mostra en el diagrama següent Il·lustració 78.



Il·lustració 78: Diagrama, dipol a 42 mm de pla de massa sense EBG.

4.1.1.5.1 ESTRUCTURA

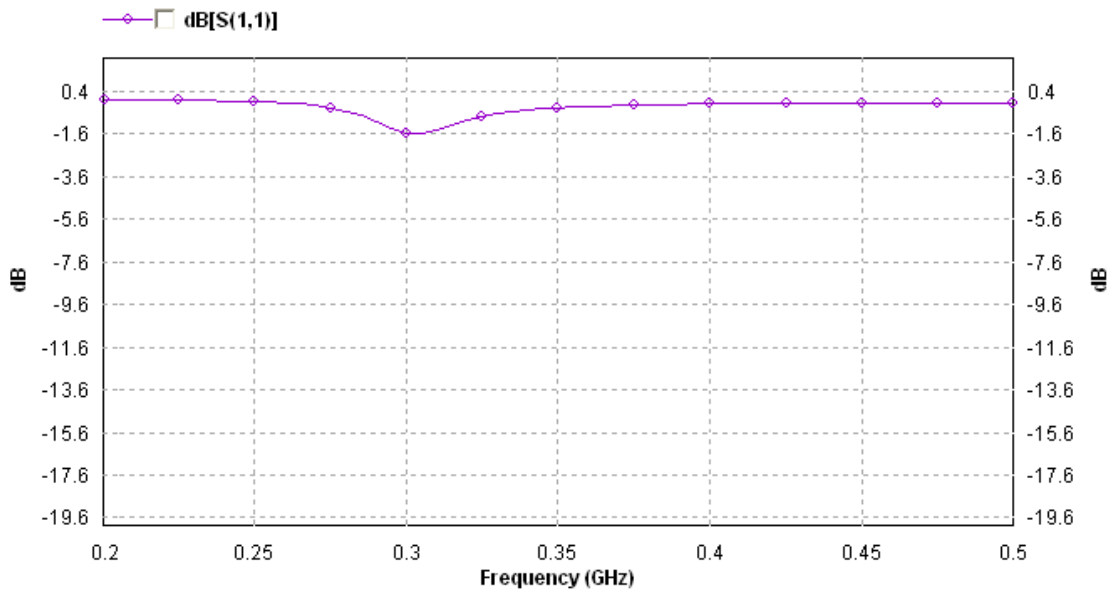
Estructura generada amb IE3D vista des de dalt Il·lustració 79



Il·lustració 79: Estructura generada amb IE3D vista des de dalt a 42 mm de pla de massa.

4.1.1.5.2 PERDUES DE RETORN

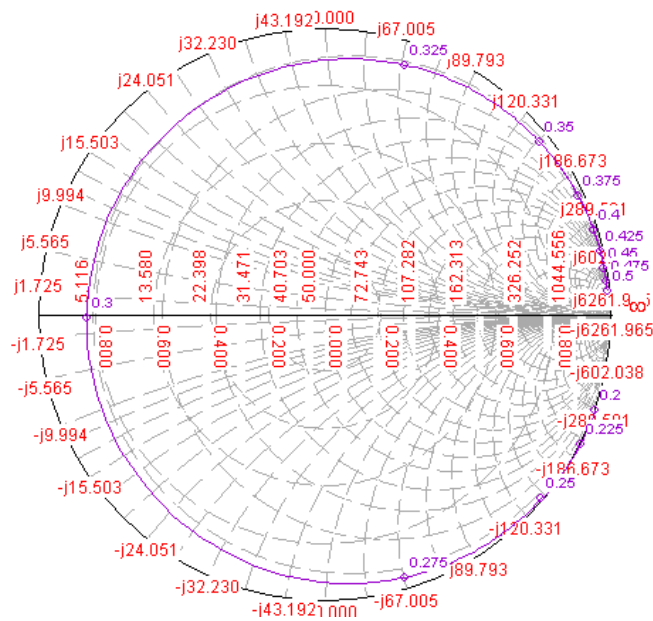
Les pèrdues de retorn d'aquest escenari són les que es mostren a la Il·lustració 80, on es pot veure que la freqüència de ressonància és 300MHz però té molt poca pèrdua respecte la resta de freqüències 1,6 dB.



Il·lustració 80: S11 simulat IE3D - Dipol a 42 mm de pla de massa sense EBG.

4.1.1.5.3 CARTA SMITH

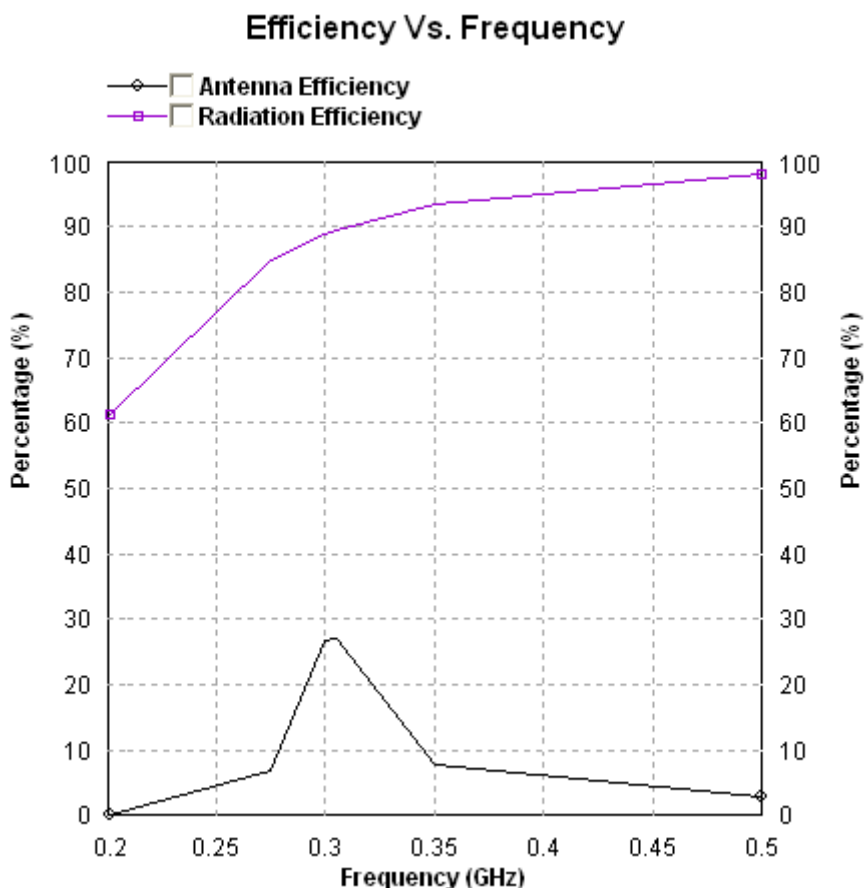
A la carta de Smith s'observa com l'estructura no està adaptada per cap freqüència.



Il·lustració 81: Carta Smith simulada amb IE3D per dipol a 42 mm de pla de massa sense EBG

4.1.1.5.4 EFICIÈNCIA

L'eficiència de radiació i d'antena es poden observar en la Il·lustració 82, on l'eficiència de radiació en aquest escenari és quasi del 100% per totes les freqüències, en canvi l'eficiència d'antena que està relacionada amb les pèrdues de retorn s'observa com és molt petita, quasi d'un 30%.



Il·lustració 82: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un dipol a 42 mm del pla de massa sense EBG

4.1.2 CONCLUSIONS

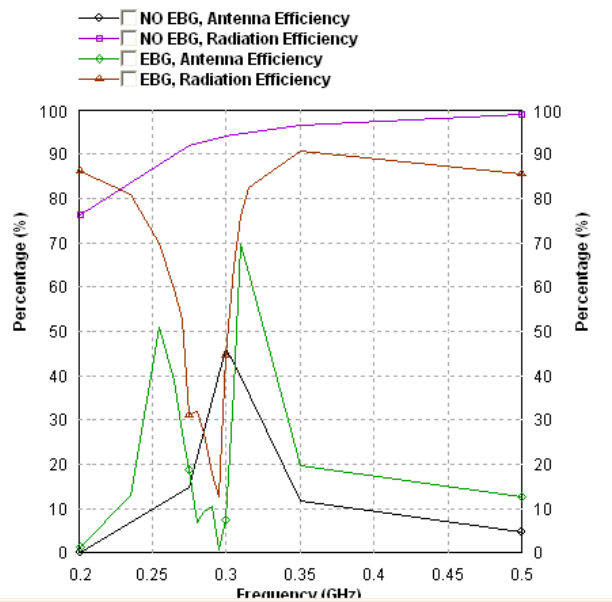
A l' Il·lustració 83 es mostra una comparativa entre el l'escenari 1 i l'escenari 2 d'aquest estudi, on el dipol es trobava a 60 mm del pla de massa, un amb EBG i l'altre sense EBG.

Pel que fa l'escenari on el dipol es troba a 60 mm si s'analitza la comparativa, primer s'observa que amb EBG la freqüència es veu desplaçada entre 5 MHz i 10 MHz respecte la freqüència del dipol en espai lliure i sense EBG que estan a 300MHz, la segona peculiaritat que s'observa és que amb el EBG hi ha un

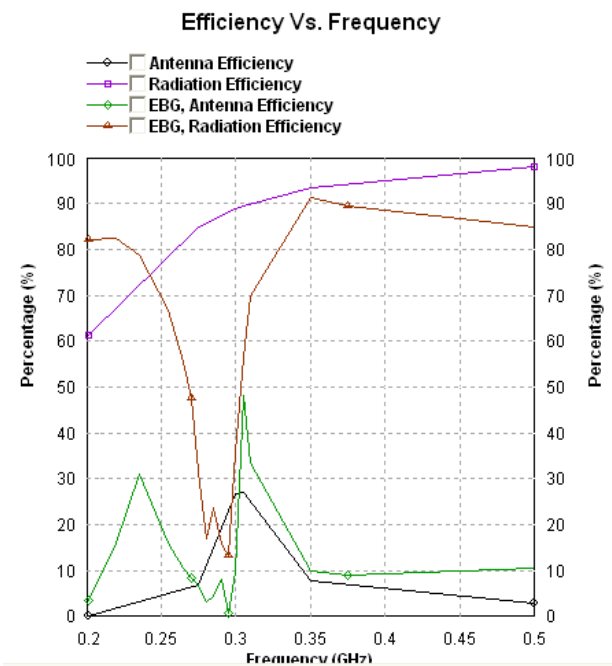
nul a 300 MHz sobre l'eficiència de radiació tot i per 305MHz té menys eficiència de radiació que sense EBG, l'eficiència d'antena és superior.

Pel dipol situat a 42 mm succeeix el mateix però amb una pitjor eficiència degut a la proximitat amb el pla de massa.

Finalment el que es pot dir és que l'estructura EBG millora considerablement el comportament del dipol davant un pla conductor, tot i que es sacrifica força adaptació que es podria millorar mitjançant una xarxa d'adaptació d'impedàncies, redueix l' ample de banda, però alhora permet tenir un perfil més baix.



Il·lustració 83: Comparativa entre dipol A 60 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.



Il·lustració 84: Comparativa entre dipol A 42 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.

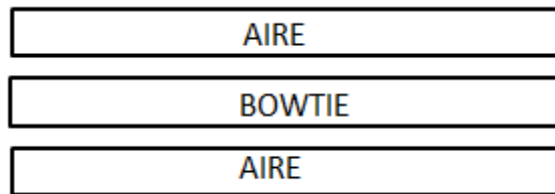
4.2 ESTUDI 2: DESIGN OF A BROADBAND DIPOLE IN CLOSE PROXIMITY TO AN EBG GROUND PLANE. [14]

En aquest estudi es torna a utilitzar com a referència l'article anterior però en aquest cas s'utilitza una antena bowtie ja que aquest element té més amplada de banda i es duen a terme els mateixos escenaris.

4.2.1 SIMULACIONS

4.2.1.1 ESCENARI 1: BOWTIE ESPAI LLIURE

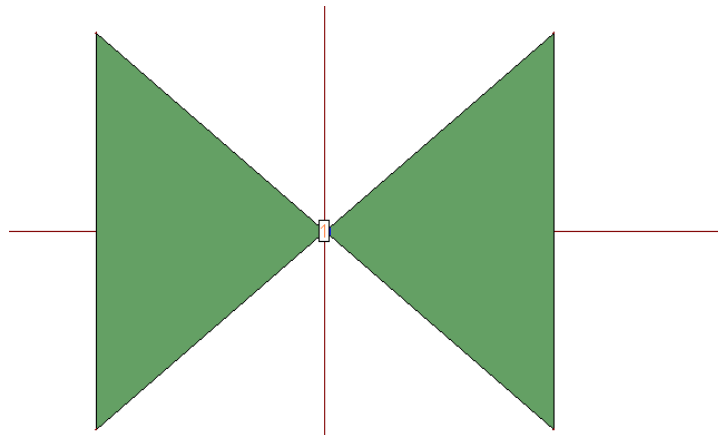
Com en l'anterior apartat, primerament s'estudia el comportament del bowtie en espai lliure, tal i com mostre el diagrama de la Il·lustració 85.



Il·lustració 85: Bowtie en espai lliure a 300MHz

4.2.1.1.1 ESTRUCTURA:

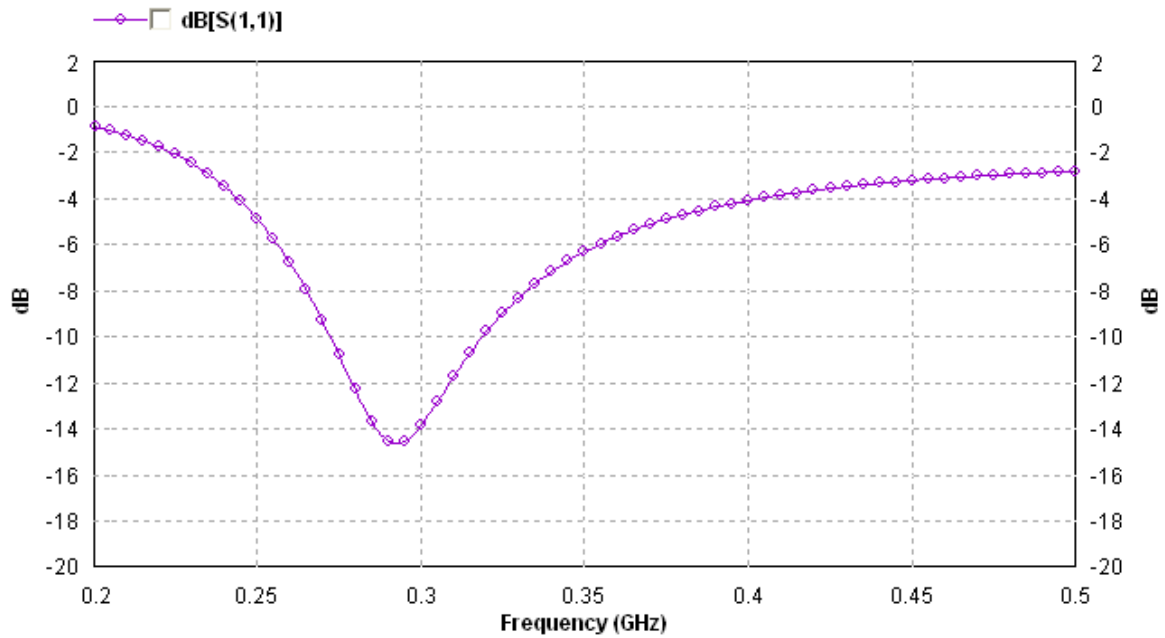
La Il·lustració 86 mostra el bowtie creat en IE3D per poder simular-lo i veure les seves característiques.



Il·lustració 86: Bowtie IE3D en espai lliure

4.2.1.1.2 PERDUES DE RETORN:

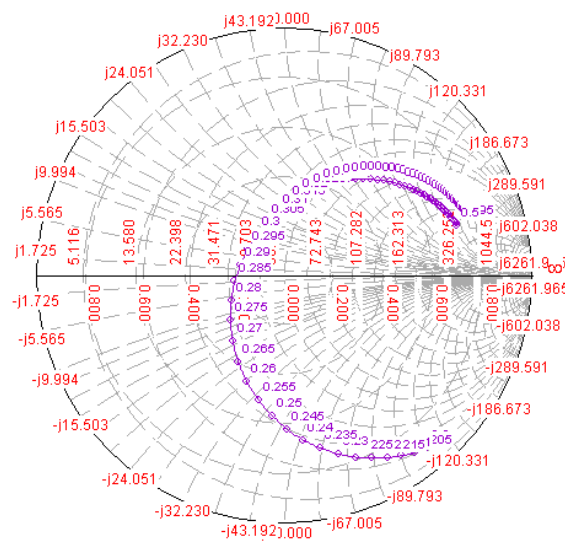
Les pèrdues de retorn per l'antena bowtie són les que es mostren a la Il·lustració 87, on s'observa com aquesta antena treballa al voltant de 300MHz i té una amplitud de banda més elevada que pel cas del dipol lliure Il·lustració 51.



Il·lustració 87: S11 - IE3D- antena bowtie en espai lliure.

4.2.1.1.3 CARTA SMITH:

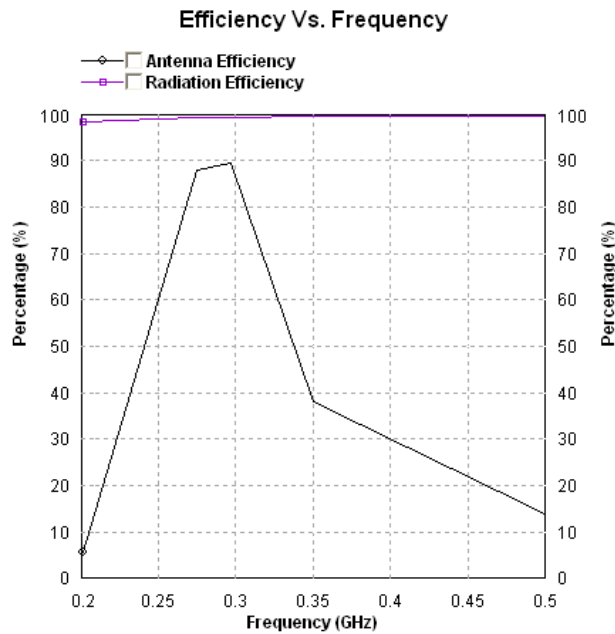
La carta de Smith mostra com l'antena està adaptada per una freqüència al voltant dels 300MHz.



Il·lustració 88: Carta Smith IE3D- Bowtie 300MHz en espai lliure.

4.2.1.1.4 EFICIÈNCIA

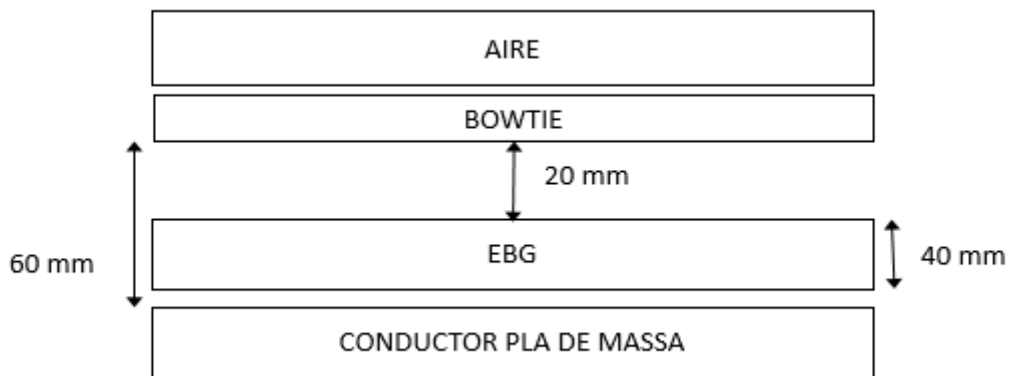
L'eficiència de radiació en aquest cas és del 100% per totes les freqüències, en canvi l'eficiència d'antena al estar condicionada per les pèrdues de retorn vist anteriorment el seu màxim es troba al voltant de 300MHz.



Il·lustració 89: Eficiència de radiació i d'antena per bowtie a 300MHz en espai lliure

4.2.1.2 ESCENARI 2: BOWTIE a 60 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG

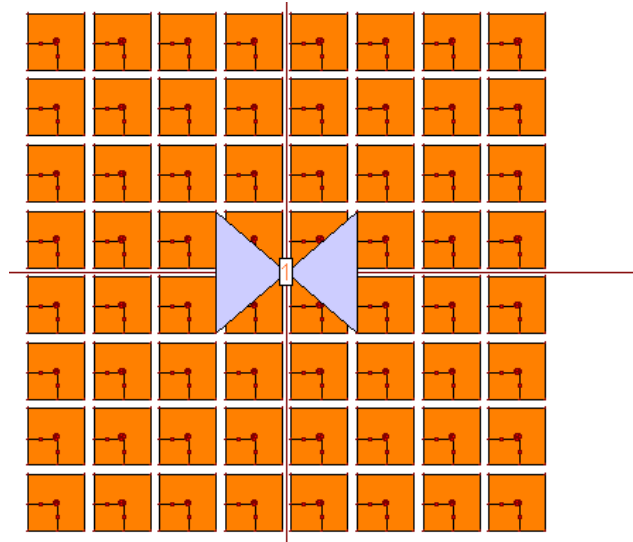
Com en l'anterior estudi primerament es col·loca el bowtie a 60mm del pla de massa amb EBG a 40 mm del pla de massa tal i com mostra la Il·lustració 90.



Il·lustració 90: Diagrama BOWTIE a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa

4.2.1.2.1 ESTRUCTURA:

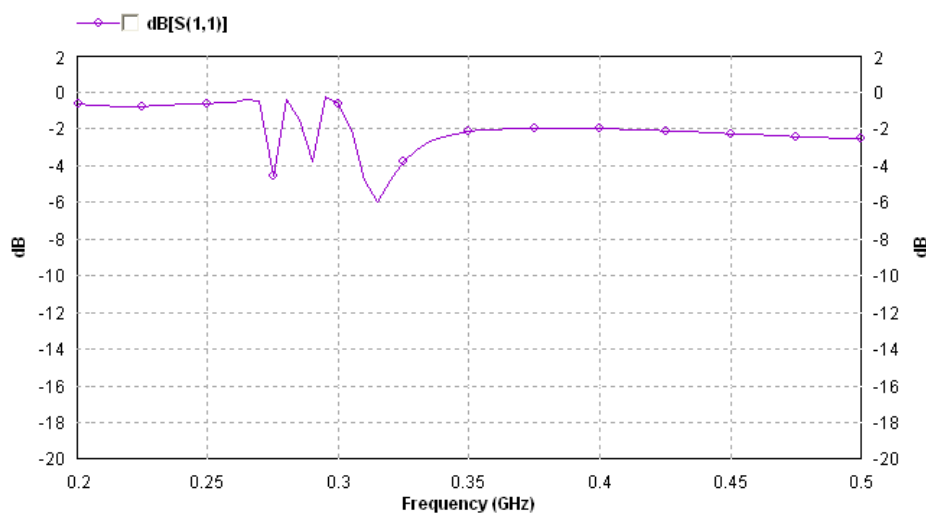
A la Il·lustració 91 és mostra l'estructura generada mitjançant el IE3D vist des de dalt, on al centre s'hi ha col·locat el bowtie a una distància de la EBG de 20 mm.



Il·lustració 91 Estructura vista de dalt en IE3D de BOWTIE a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa

4.2.1.2.2 PERDUES DE RETORN:

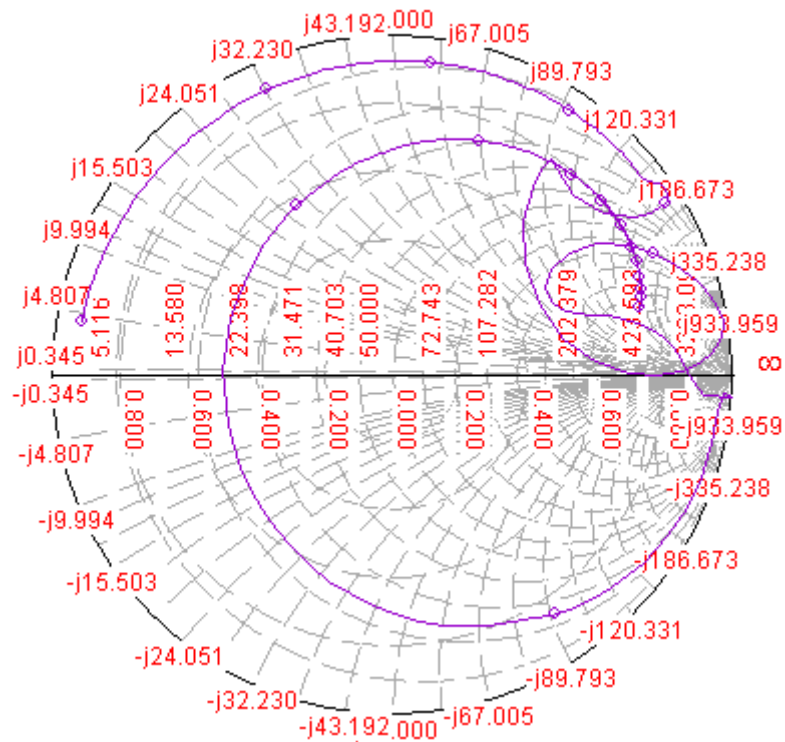
A la Il·lustració 92 es mostren les pèrdues de retorn per aquest escenari on s'observa que al voltant dels 310MHz és on hi ha les majors pèrdues de retorn, això indica que la freqüència de ressonància de l'estructura s'ha desplaçat cap a la dreta a més d'haver-se reduït l'amplada de banda.



Il·lustració 92S11 simulat en IE3D de BOWTIE a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.

4.2.1.2.3 CARTA SMITH:

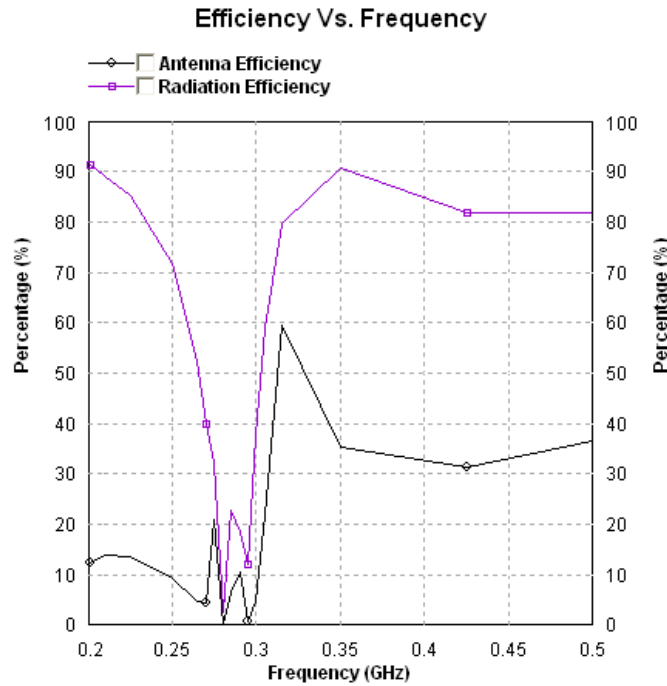
A la Il·lustració 93, s'hi mostra la carta de Smith on a simple vista es pot veure que l'estructura no està ben adaptada del tot.



Il·lustració 93: Carta Smith simulada amb IE3D per BOWTIE a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

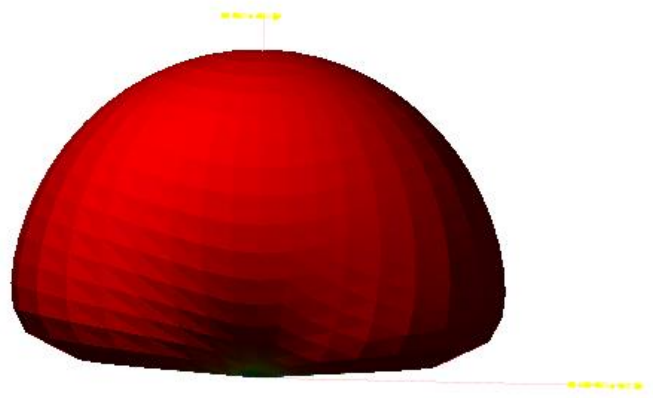
4.2.1.2.4 EFICIÈNCIA

Pel que fa a l'eficiència aquesta es veu reflexada a la Il·lustració 94 on a simple vista s'observa que per les freqüències inferiors a 300MHz no es disposa d'una bona eficiència de radiació i per conseqüència tampoc la tindrà d'antena, en canvi per les freqüències superiors a 300MHz fins a 310MHz, l'estructura té una eficiència d'antena d'un 50%.



Il·lustració 94: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un BOWTIE a 60 mm del pla de massa i un EBG a 40 mm del pla de massa.

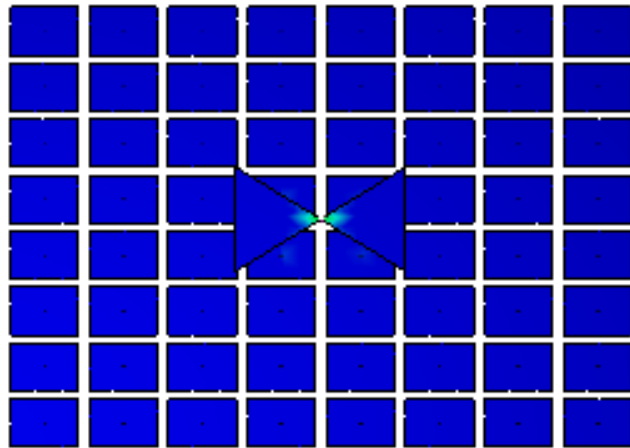
4.2.1.2.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ:



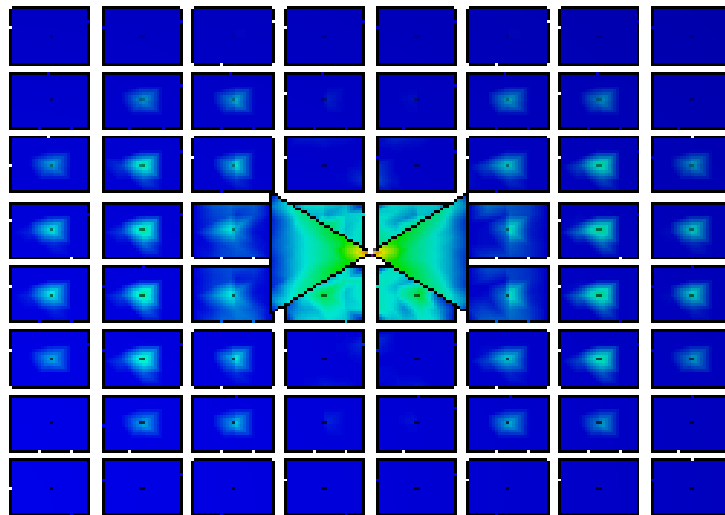
Il·lustració 95: Diagrama de radiació amb IE3D, BOWTIE a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

4.2.1.2.6 CORRENT:

A la Il·lustració 96 s'hi observa el corrent que circula per l'estructura per la freqüència de 200MHz i com es pot veure l'estructura està molt poc il·luminada, en canvi a la Il·lustració 97 que correspon al corrent que hi circula per una freqüència de 350MHz aquesta està molt més il·luminada.



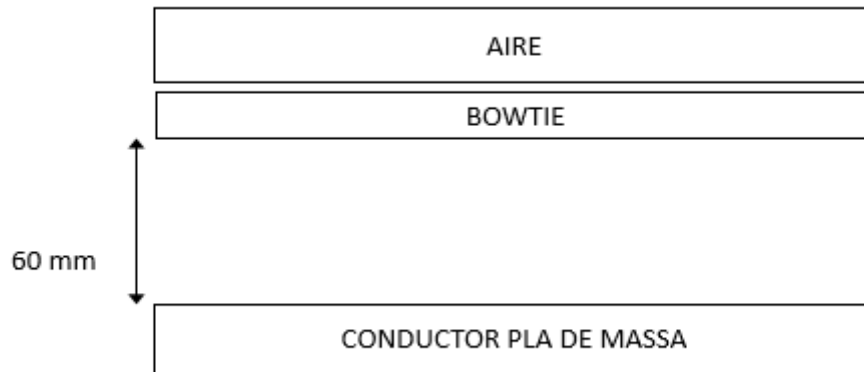
Il·lustració 96: Corrent BOWTIE a 200MHz simulat amb IE3D



Il·lustració 97: Corrent BOWTIE a 350MHz simulat amb IE3D

4.2.1.3 ESCENARI 3: BOWTIE a 60 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

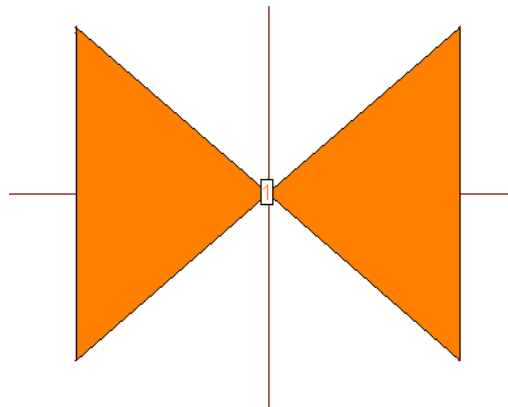
Aquest escenari està relacionat directament amb l'anterior però en aquest cas s'ha tret l'estructura EBG, per tant hi ha un dipol bowtie que treballa sobre els 300MHz i està col·locat a 60 mm d'un pla conductor. Il·lustració 98



Il·lustració 98: Diagrama, BOWTIE a 60 mm de pla de massa sense EBG.

4.2.1.3.1 ESTRUCTURA

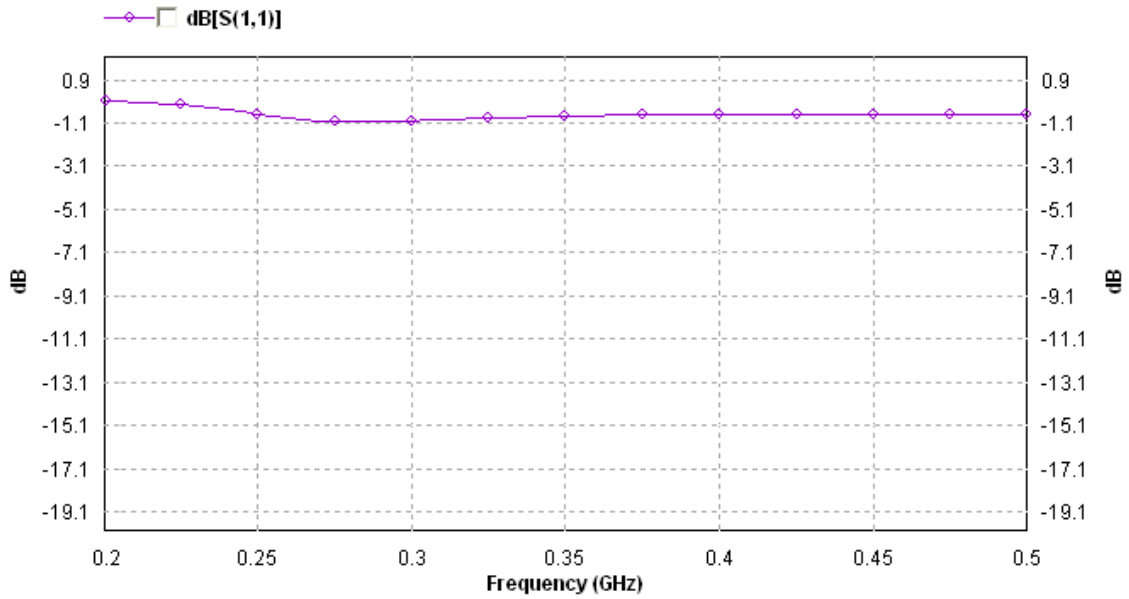
La Il·lustració 99 mostra l'estructura generada al IE3D.



Il·lustració 99: Estructura BOWTIE generada amb IE3D vista des de dalt a 60 mm de pla de massa

4.2.1.3.2 PERDUES DE RETORN:

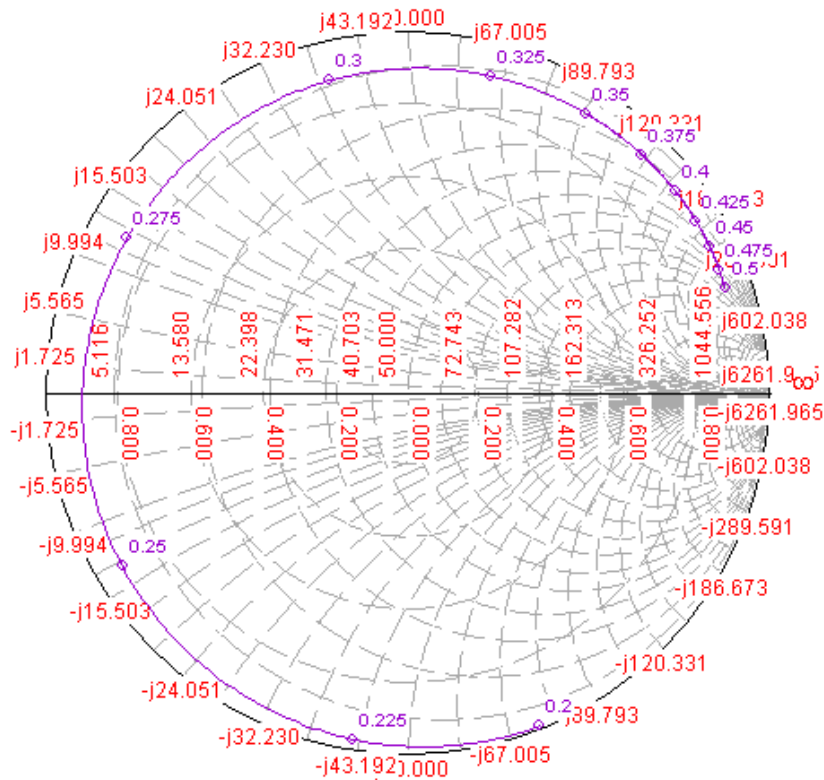
Les pèrdues de retorn pel cas del Bowtie a 60 mm del pla de massa sense EBG són les que es mostren a la Il·lustració 100, on s'observa que està pràcticament curtcircuitat les pèrdues de retorn són iguals per totes les freqüències.



Il·lustració 100: S11 simulat amb IE3D de BOWTIE a 60 mm de pla conductor sense EBG

4.2.1.3.3 CARTA SMITH:

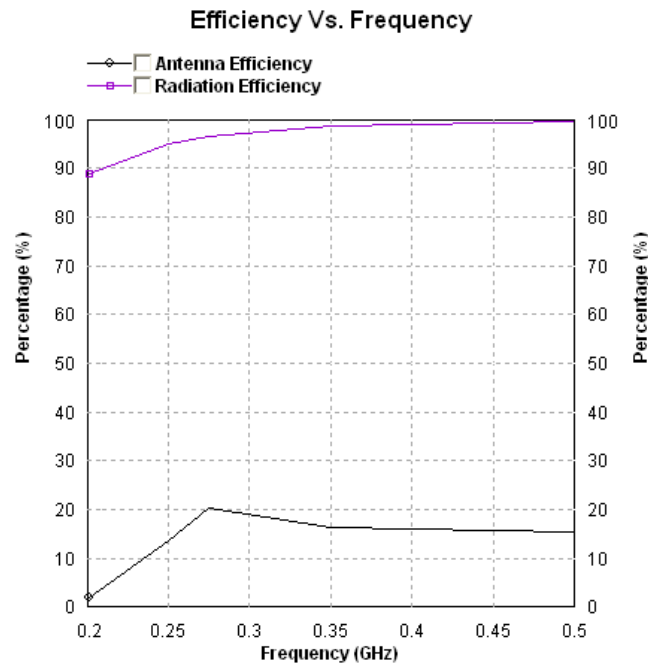
Com s'observa a la carta de Smith (Il·lustració 101), l'estructura no està adaptada per tot el rang de freqüències.



Il·lustració 101: Carta de Smith simulada amb IE3D del BOWTIE a 60 mm del pla de massa sense EBG.

4.2.1.3.4 EFICIÈNCIA

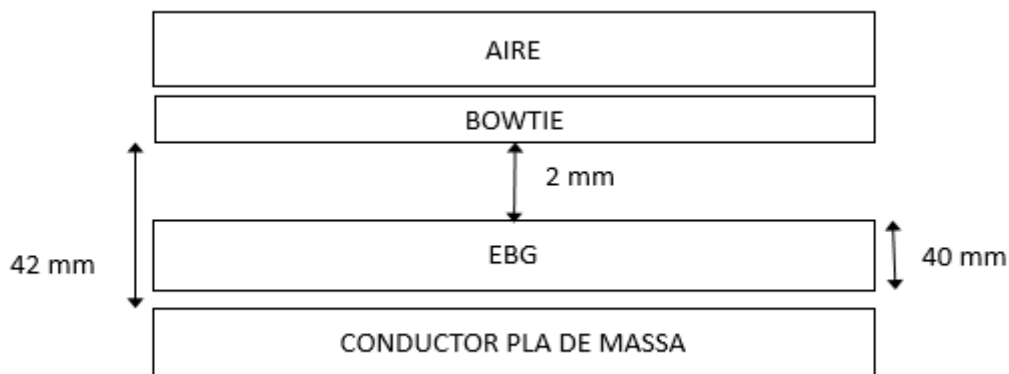
L'eficiència per aquesta estructura es mostra en la següent figura i com es pot observar té una eficiència d'antena molt baixa 20%, però una alta eficiència de radiació.



Il·lustració 102: Eficiència de radiació i d'antena simulades amb IE3D per un BOWTIE a 60mm del pla de massa sense EBG.

4.2.1.4 ESCENARI 4: BOWTIE a 42 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG

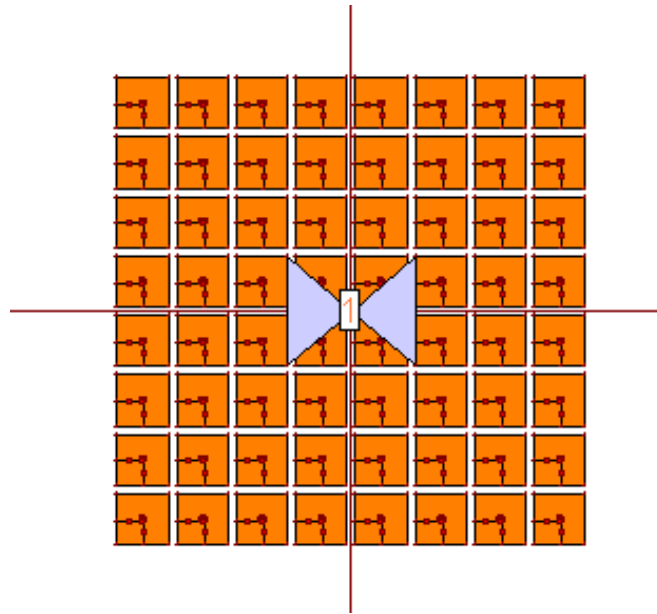
Com en l'anterior estudi i per analitzar més en detall aquesta estructura amb l'antena bowtie, es col·locarà aquesta a 2 mm de l'estructura EBG, per tant a 42 mm del pla de massa. Il·lustració 103.



Il·lustració 103: Diagrama de BOWTIE a 42 mm de pla de massa amb EBG a 40 mm de pla de massa.

4.2.1.4.1 ESTRUCTURA:

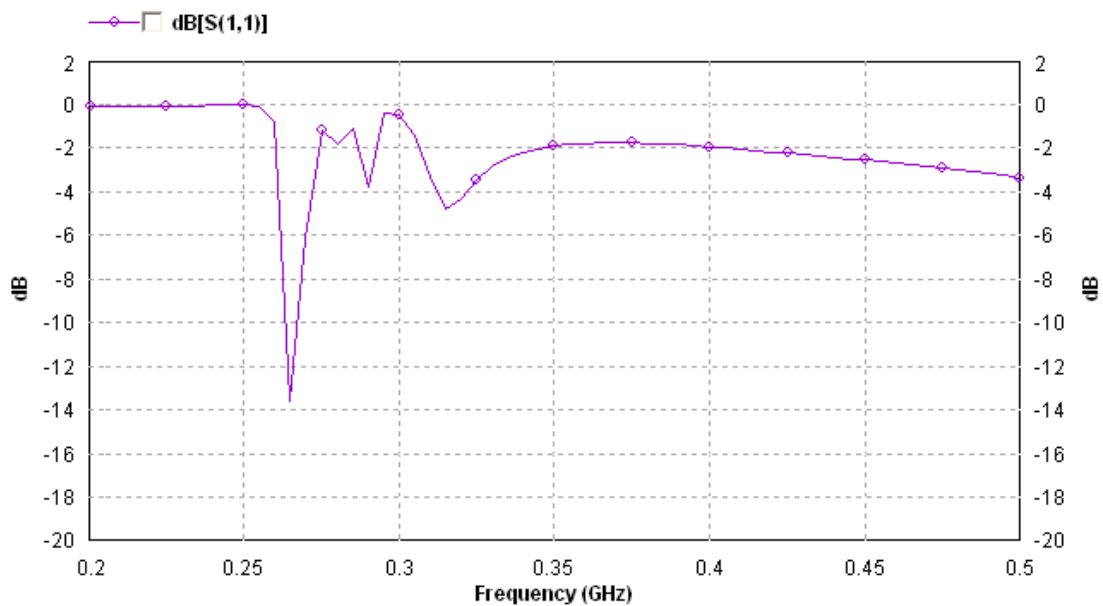
En la figura següent (Il·lustració 104) es mostra l'estructura creada en IE3D, con s'observa l'antena bowtie al centre del EBG de 8x8.



Il·lustració 104: Estructura en IE3D de BOWTIE a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa

4.2.1.4.2 PERDUES DE RETORN:

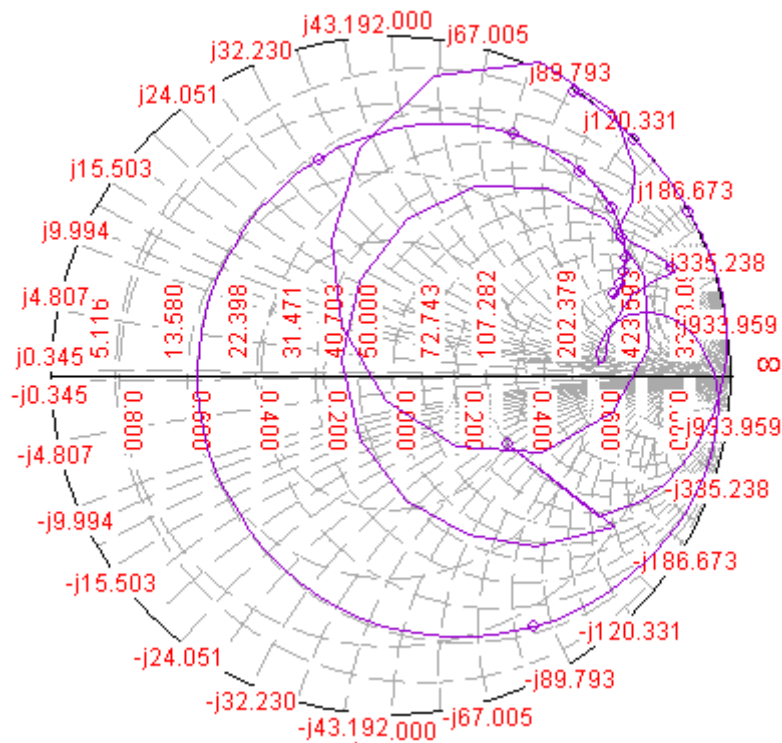
A continuació es mostren les pèrdues de retorn on s'observa clarament un desplaçament de la freqüència de ressonància de quasi 20 MHz a més d'una forta reducció de l'amplada de banda.



Il·lustració 105: S11 simulat en IE3D de BOWTIE mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.

4.2.1.4.3 CARTA SMITH:

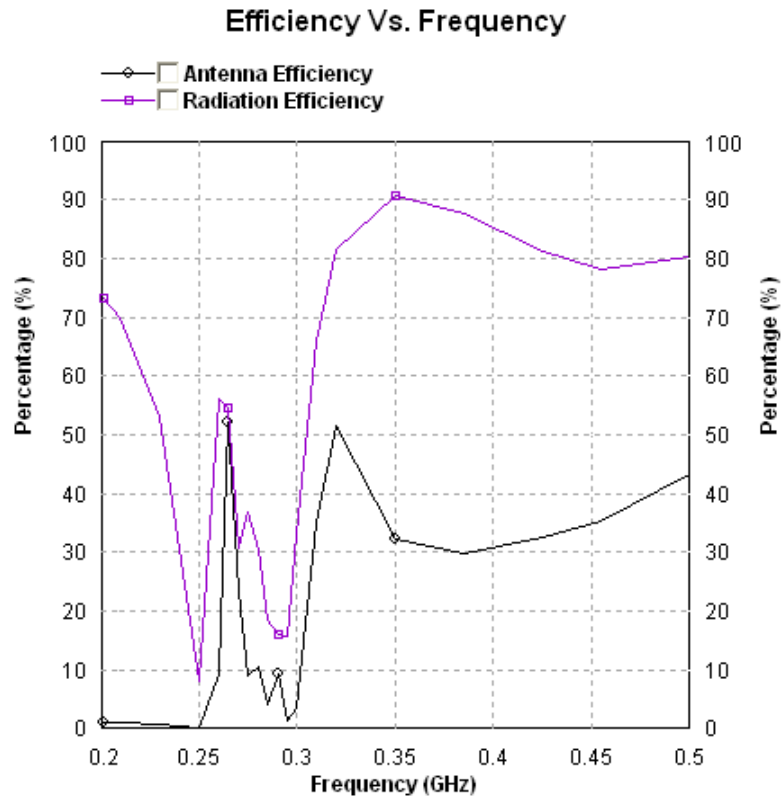
A la carta de Smith Il·lustració 106 es pot observar com l'estructura està adaptada per unes certes freqüències.



Il·lustració 106: Carta Smith simulada amb IE3D per BOWTIE a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

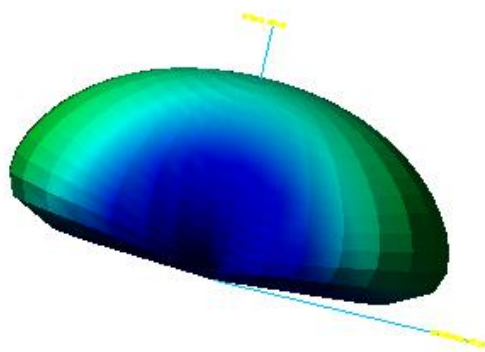
4.2.1.4.4 EFICIÈNCIA

Pel que fa a l'eficiència de radiació i d'antena que es mostren en la Il·lustració 107 val a dir que haver l'estructura EBG, l'eficiència de radiació es veu molt afectada, sobretot a les freqüències d'interès, aquest fet fa limita l'eficiència d'antena que es situa sobre un 50% a la freqüència de 260MHz i 310MHz 320 MHz.



Il·lustració 107: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un BOWTIE a 42 mm del pla de massa i un EBG a 40 mm del pla de massa.

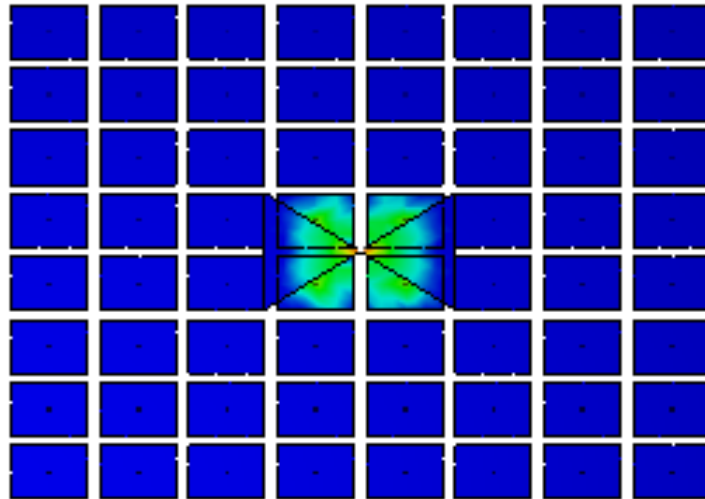
4.2.1.4.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ:



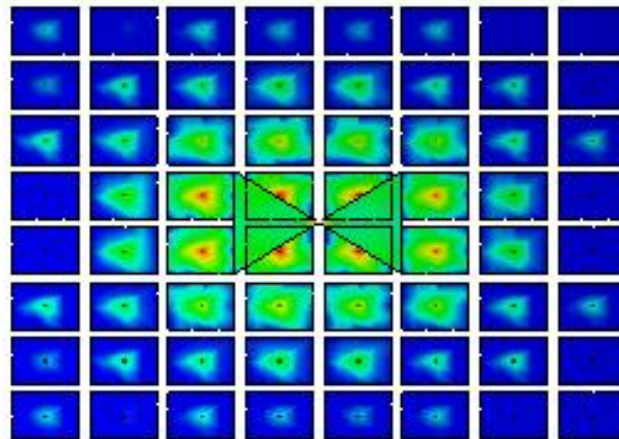
Il·lustració 108: Diagrama de radiació amb IE3D, BOWTIE a 42 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.

4.2.1.4.6 CORRENT:

Tal i com ha mostrat l'eficiència d'antena a 200MHz és pràcticament nul·la i això es pot veure amb el corrent que circula per la superfície a aquesta freqüència Il·lustració 109. En canvi a la freqüència de 260MHz on s'ha comentat que s'aconseguia un 50% de l'eficiència d'antena, l'estructura té un corrent molt més fort i que afecta a més cel·les tal i com el es mostra en la Il·lustració 110.



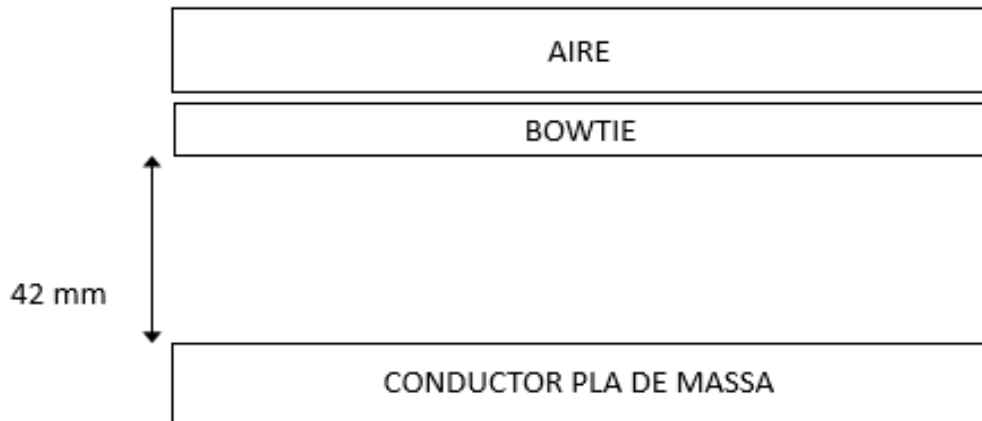
Il·lustració 109: Corrent BOWTIE a 200MHz simulat amb IE3D



Il·lustració 110: Corrent BOWTIE a 260MHz simulat amb IE3D

4.2.1.5 ESCENARI 5: BOWTIE a 42 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

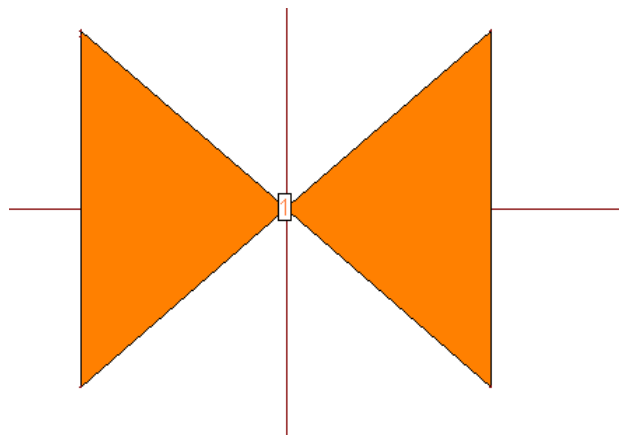
El següent pas per analitzar amb més detall l'efecte de l'estructura, s'ha tret l'EBG i s'ha deixat el dipol bowtie a 42 mm del pla de massa, Il·lustració 111.



Il·lustració 111: Diagrama, BOWTIE a 42 mm de pla de massa sense EBG

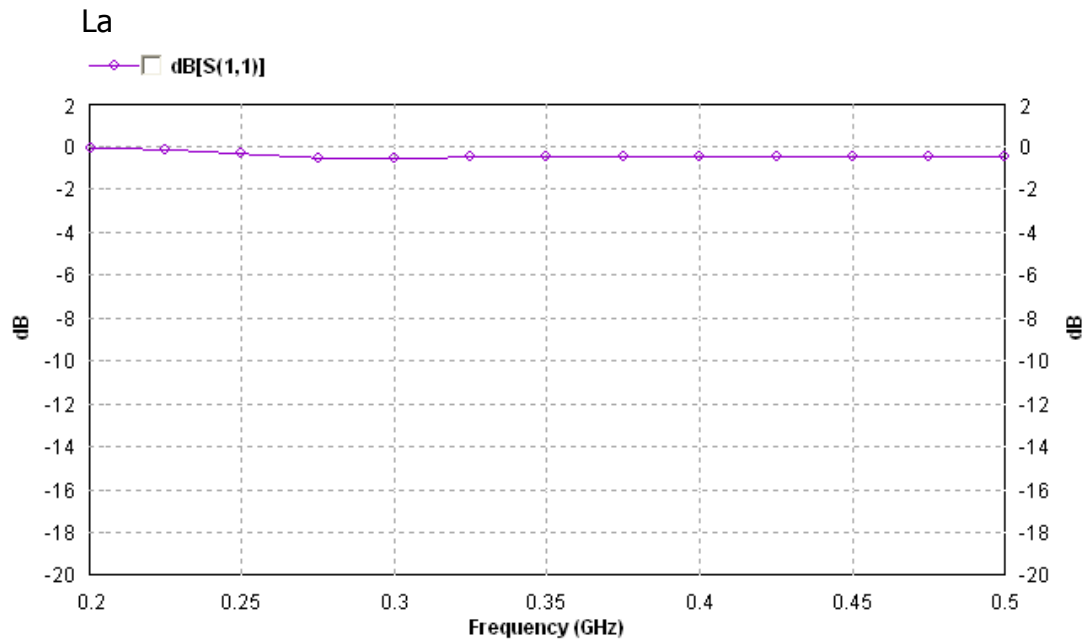
4.2.1.5.1 ESTRUCTURA:

L'estructura creada amb el IE3D és la Il·lustració 112.

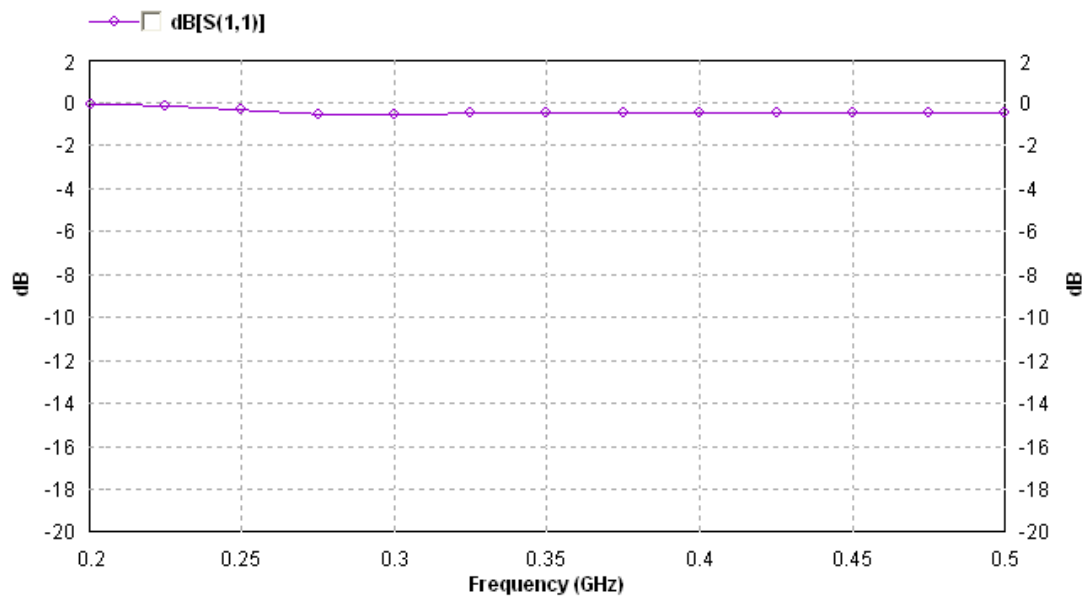


Il·lustració 112: BOWTIE generada amb IE3D vista des de dalt a 42 mm de pla de massa.

4.2.1.5.2 PERDUES DE RETORN:



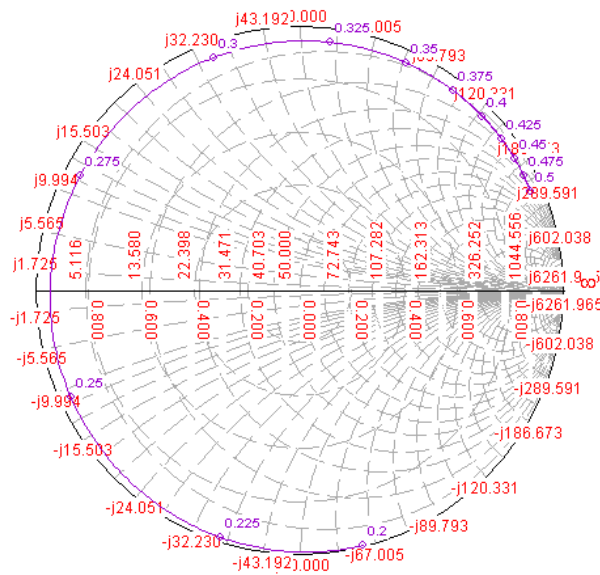
Il·lustració 113 mostra les pèrdues de retorn per aquesta estructura on es veu perfectament com l'antena no funciona correctament per cap freqüència del nostre interès.



Il·lustració 113: S11 simulat IE3D - BOWTIE a 42 mm de pla de massa sense EBG.

4.2.1.5.3 CARTA SMITH:

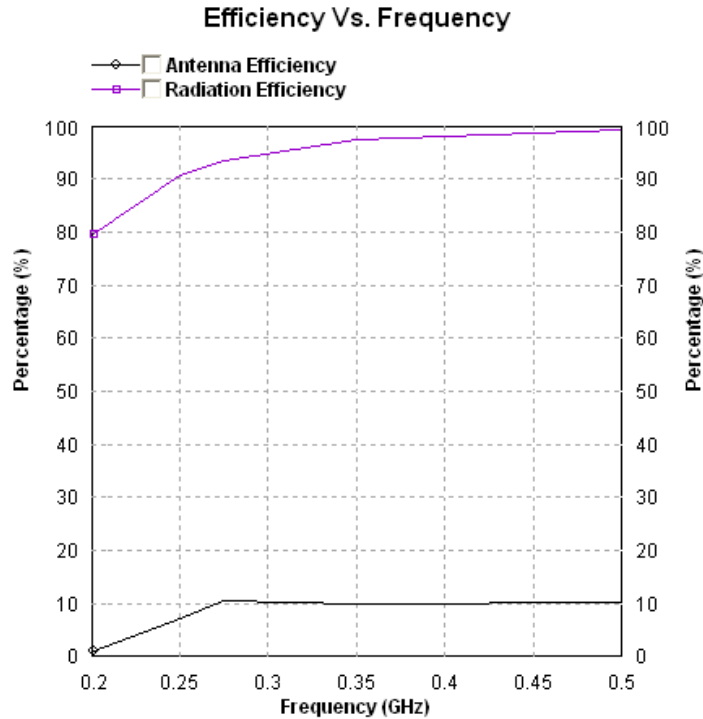
Com era d'esperar, la carta de Smith (Il·lustració 114) mostra com l'estructura està curtcircuitada i gens adaptada.



Il·lustració 114: Carta Smith simulada amb IE3D per BOWTIE a 42 mm de pla de massa sense EBG

4.2.1.5.4 EFICIÈNCIA

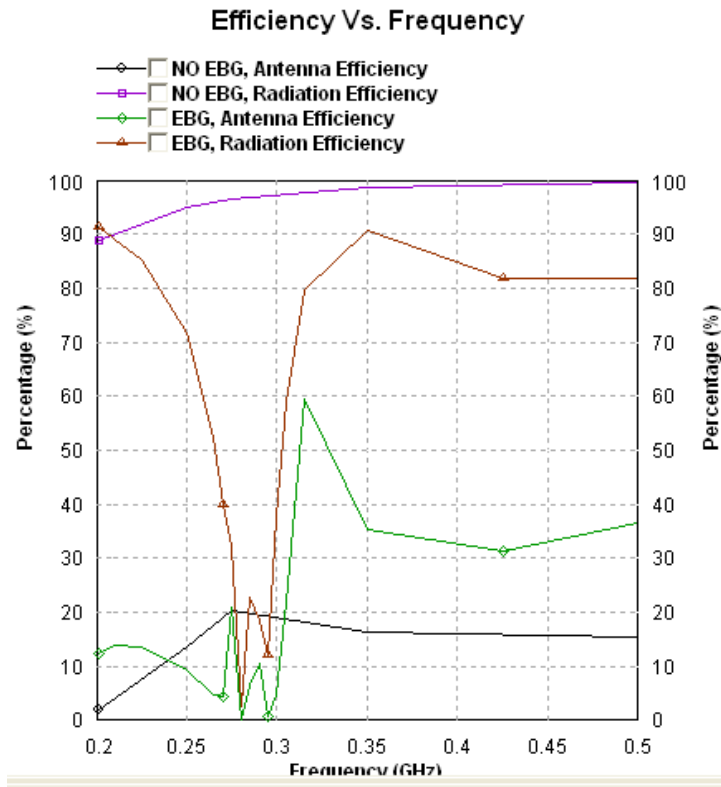
Arrel de les males pèrdues de retorn, l'eficiència d'antena es veu molt afectada on el màxim que s'obté es un 10%, en canvi l'eficiència de radiació és quasi del 100% per totes les freqüències.



Il·lustració 115: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un BOWTIE a 42 mm del pla de massa sense EBG

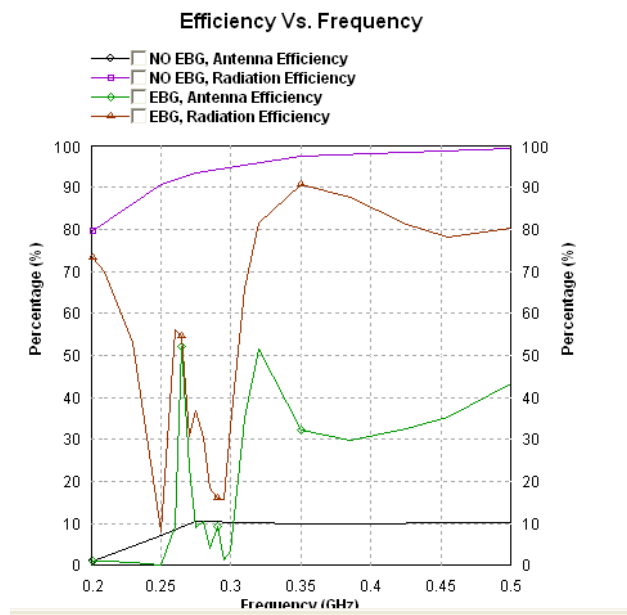
4.3.2 CONCLUSIONS

A la Il·lustració 116 és mostra la comparativa de les eficiències del Bowtie a 60mm del pla de massa amb i sense EBG, el que es pot veure és que l'eficiència de radiació amb EBG es veu molt afectada tot i que posteriorment sobre les freqüències sobre la freqüència dels 310MHz té una eficiència d'antena molt més elevada (60%) respecte sense EBG (20%).



Il·lustració 116: comparativa entre BOWTIE A 60 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.

Si es realitza la mateixa comparació amb el bowtie a 42 mm del pla de massa els resultats són els de la Il·lustració 117, on s'observa que succeeix quasi el mateix, amb EBG l'eficiència de radiació es veu molt afectada i limita l'eficiència d'antena, per contra encara que tingui aquesta peculiaritat es segueix tenint millor eficiència d'antena per 260MHz i sobre els 310 – 320 MHz, on aquesta és del 50% i sense EBG és del 10%.



Il·lustració 117: Comparativa entre BOWTIE a 42 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.

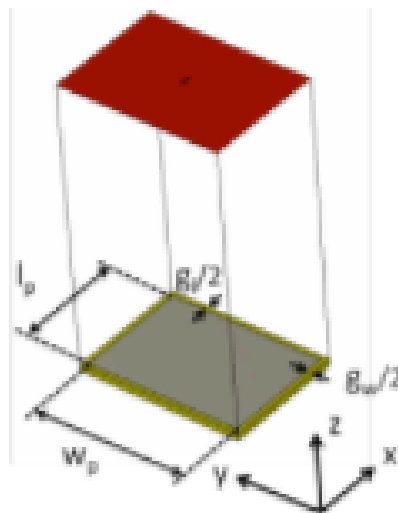
4.3 ESTUDI 3: HIGH-IMPEDANCE SUFACE DESIGN CONSIDERATIONS [11]

Julien Sarrazin, Anne-Claire Lepage, Xavier Begaud

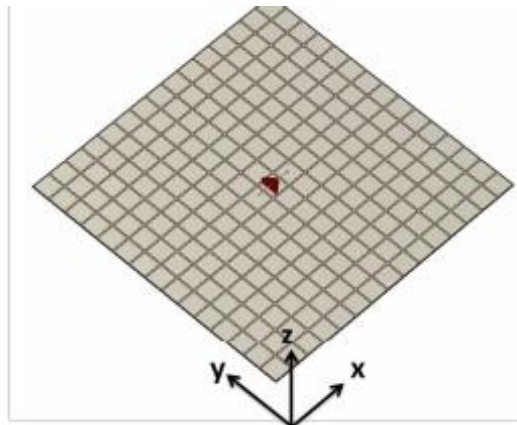
Aquest estudi està basat amb l'article 11 del segon capítol, on es crea un HIS de 439.5 mm x 439.5 mm per treballar sobre la freqüència de 2,45 GHz. Les mides de cada cel·la són les que s'indiquen a continuació:

MIDES
$L_p = 26.9$ mm
$G_l = 2.4$ mm
$W_p = 26.9$ mm i 437.1 mm
$G_w = \text{variable}$

Taula 8: Mides cel·la d'estructura HIS



Il·lustració 118: Croquis estructura HIS.



Il·lustració 119: Estructura HIS de 15x15

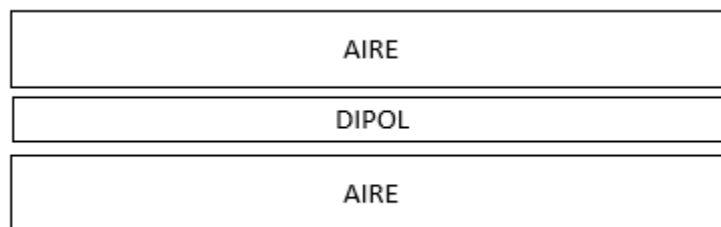
Les propietats del dielèctric són $\epsilon_r=4.3$ i una alçada de 1.58mm.

A 6mm d'aquest HIS s'hi col·loca un dipol de 52.6 mm de llargada i 1mm de radi de manera que el dipol ressona a la freqüència de 2.45 GHz. Primerament el HIS s'ha configurat per tenir 15 x 15 cel·les ($w_p=26.9$ mm) i posteriorment s'ha variat l'amplada del pedaç amb $w_p = 437.1$ mm.

4.3.1 SIMULACIONS

4.3.1.1 ESCENARI 1: ESPAI LLIURE

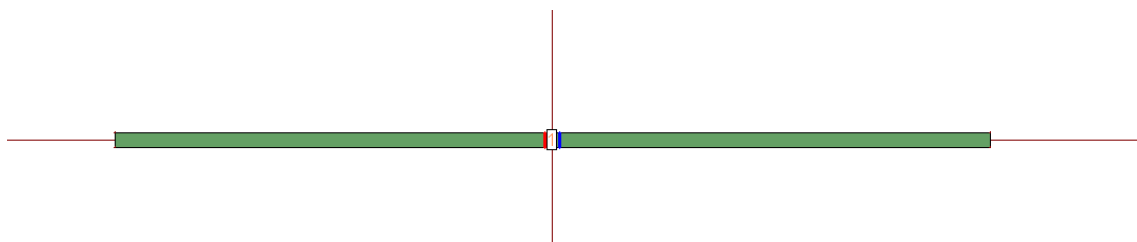
Com en els casos anterior primerament s'estudiarà el comportament del dipol en espai lliure.



Il·lustració 120: Escenari dipol lliure a 2,45 GHz.

4.3.1.1.1 ESTRUCTURA

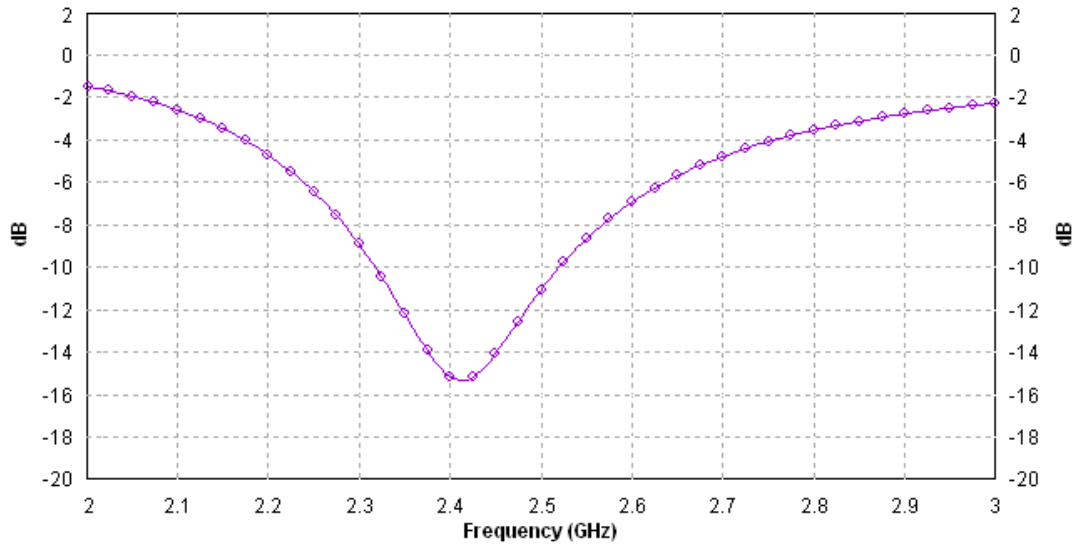
L'estructura generada en IE3D és la següent:



Il·lustració 121: Dipol en IE3D - espai lliure 2,45GHz

4.3.1.1.2 PÈRDUES DE RETORN

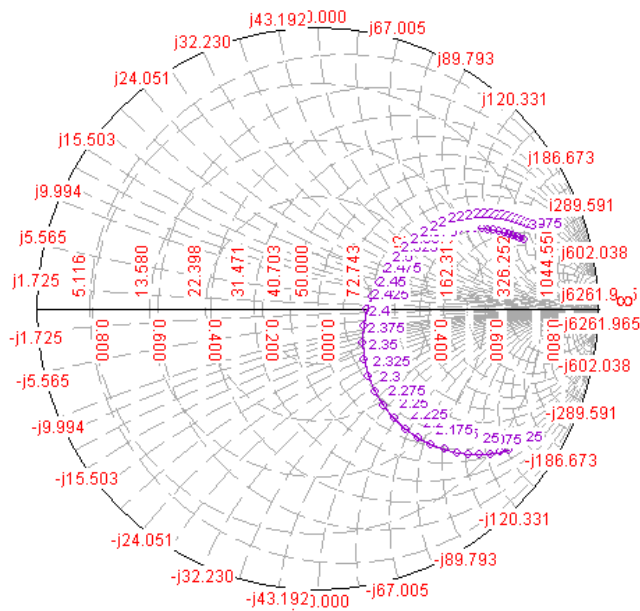
Respecte les pèrdues de retorn d'aquesta estructura són les que es mostren a la Il·lustració 122 i com s'observa la freqüència de ressonància d'aquest dipol és 2,4 Ghz amb unes pèrdues de retorn de fins a -16 dB.



Il·lustració 122: S11 - Dipol en espai lliure 2,45 GHz - IE3D

4.3.1.1.3 CARTA SMITH

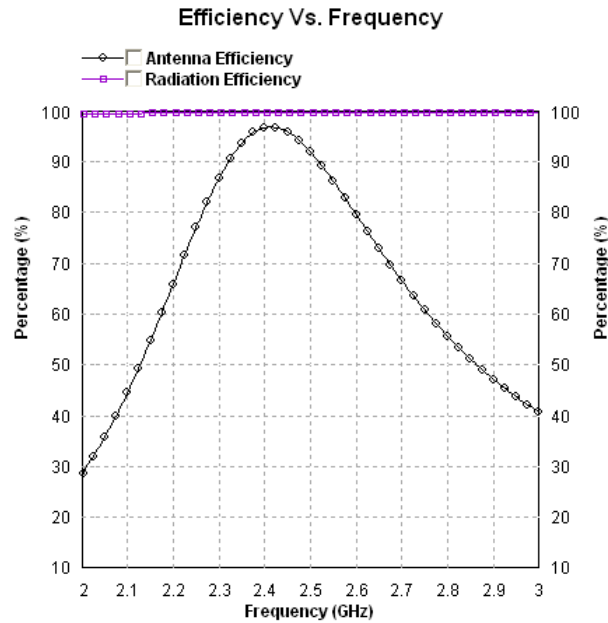
Sobre la carta de Smith Il·lustració 123 es pot observar com aquesta estructura està adaptada sobre els 2,4 GHz.



Il·lustració 123: Carta Smith - Dipol 2,45 GHz en espai lliure - IE3D

4.3.1.1.4 EFICIÈNCIA.

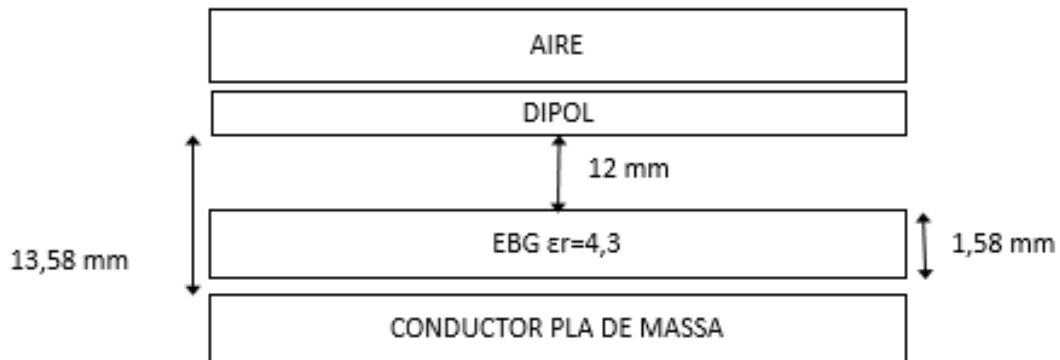
L'eficiència de radiació és del 100% per totes les freqüències en canvi l'eficiència d'antena està centrada als 2,4 GHz amb un 99%, ambdues eficiències es poden veure a la Il·lustració 124.



Il·lustració 124: Eficiència d'antena i de radiació del dipol a 2,45 GHz

4.3.1.2 ESCENARI 2: DIPOL A 13,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG

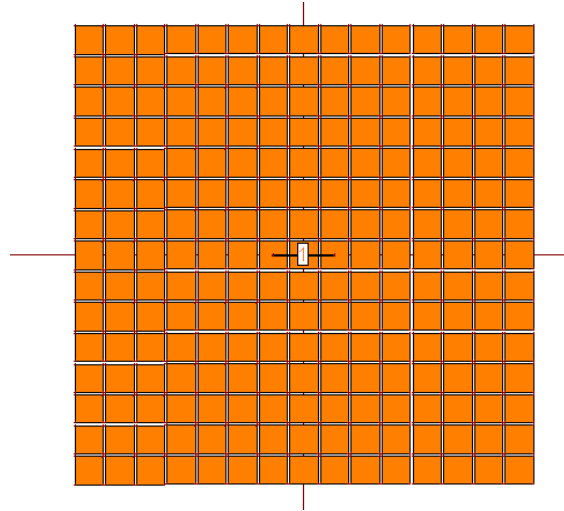
Seguint el fil de l'article d'aquest estudi, es col·locarà el dipol a 13,58 mm del pla de massa amb un EBG format per un array de pedaçs sobre un dielèctric amb una constant de 4,3 i de 1,58 mm d'alçada.



Il·lustració 125: Diagrama escenari: dipol a 13,58mm Ground Plane + EBG a 1,58 mm

4.3.1.2.1 ESTRUCTURA

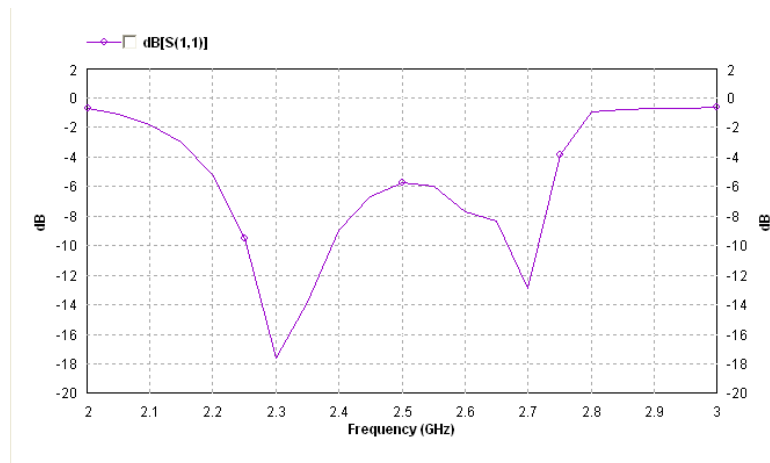
L'estructura creada en IE3D que servirà per realitzar les simulacions és la Il·lustració 126, on es pot veure el dipol al centre de l'array de 15x15 mm.



Il·lustració 126: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58mm del pla de massa.

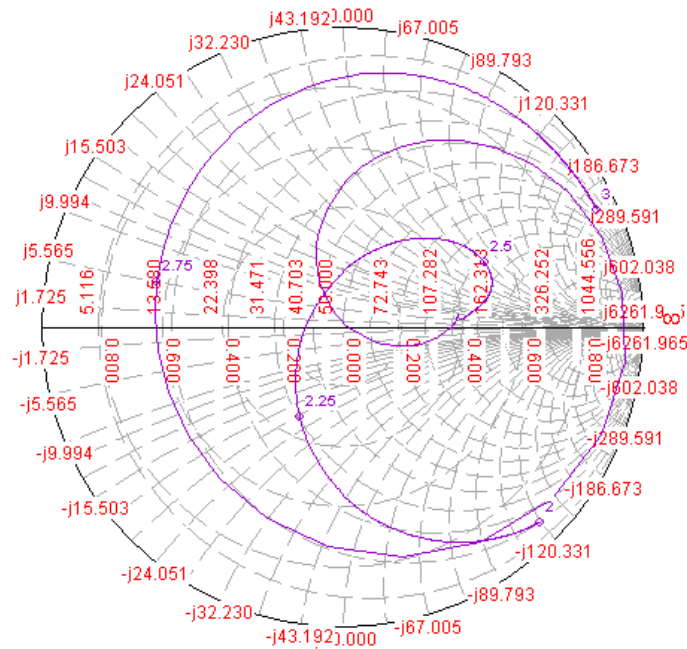
4.3.1.2.2 PÈRDUES DE RETORN

Sobre aquesta estructura la freqüència de ressonància s'ha desplaçat i se'n veuen dos una a 2,3 GHz a -16 dB i una altra a 2,7 GHz a -12 dB com es mostra a la figura Il·lustració 127.



Il·lustració 127: S11 de dipol a 13,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

4.3.1.2.3 CARTA SMITH

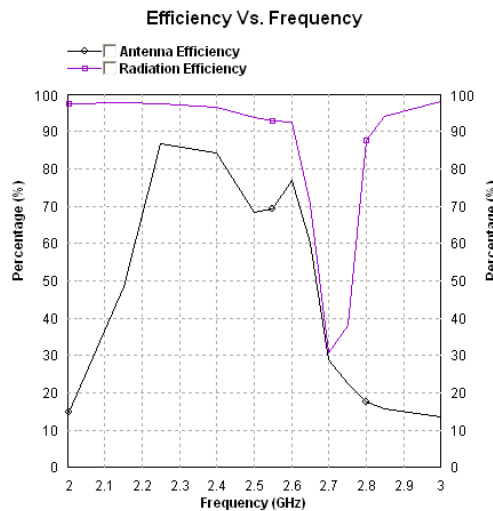


Il·lustració 128: Carta de Smith de dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

4.3.1.2.4 EFICIÈNCIA.

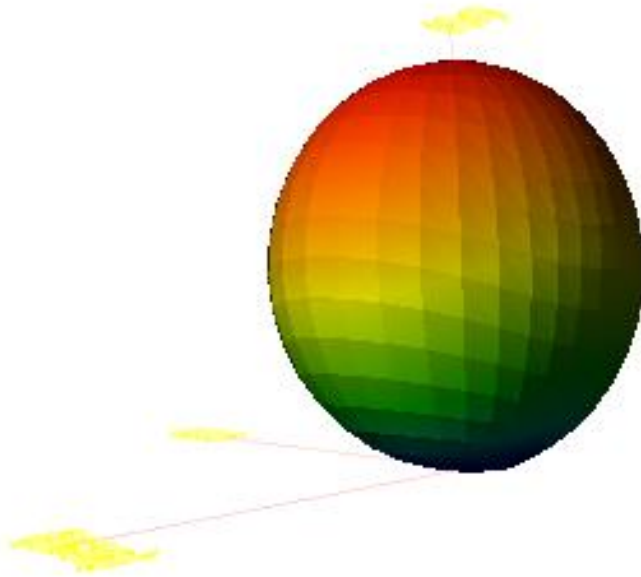
L'eficiència de radiació en aquest cas es veu afectada però a unes freqüències fora d'interès per aquest cas ja que està per sobre dels 2,6 GHz, en canvi per les freqüències entre 2 GHz i 2,6 GHz aquestes són quasi del 99%.

Pel que fa a l'eficiència d'antena com aquesta va directament relacionada amb les pèrdues de retorn i l'eficiència de radiació, la millor eficiència d'antena es entre 2,3 i 2,4 GHz on s'aconsegueix fins al 90%.



Il·lustració 129: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.

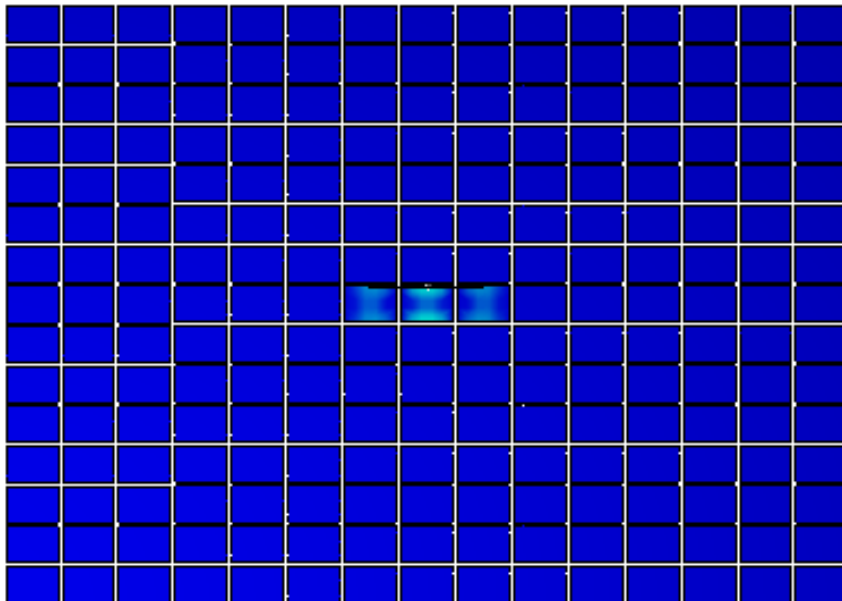
4.3.1.2.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ



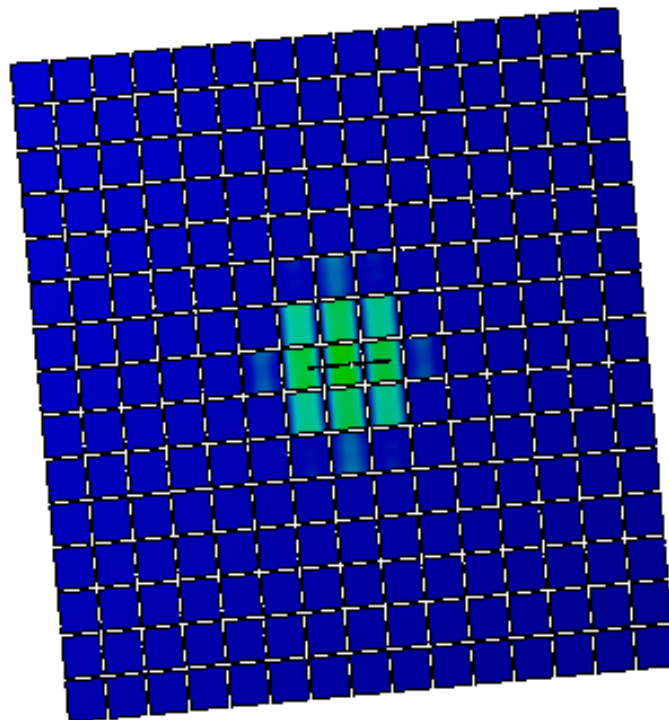
Il·lustració 130: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

4.3.1.2.6 CORRENT

El corrent de l'estructura per a 2 GHz és el que es mostra a la Il·lustració 131, on s'observa a primera vista que no hi ha pràcticament cap il·luminació, en canvi a la freqüència de 2,4 GHz hi ha un corrent molt més fort Il·lustració 132.



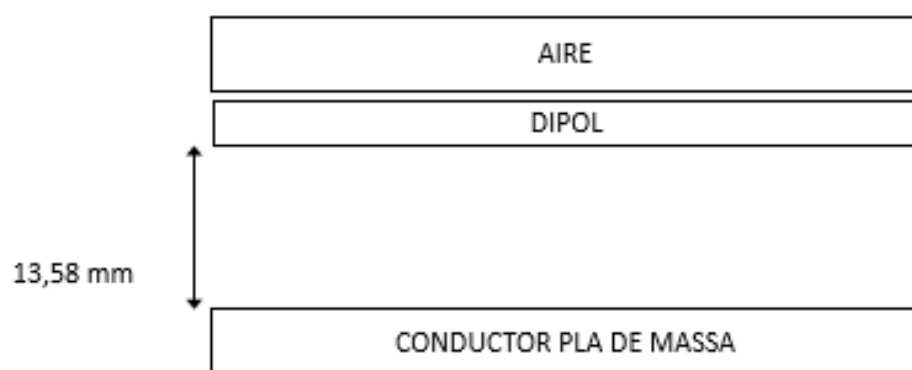
Il·lustració 131: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 13,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.



Il·lustració 132: Corrent a 2,4 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 13,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.

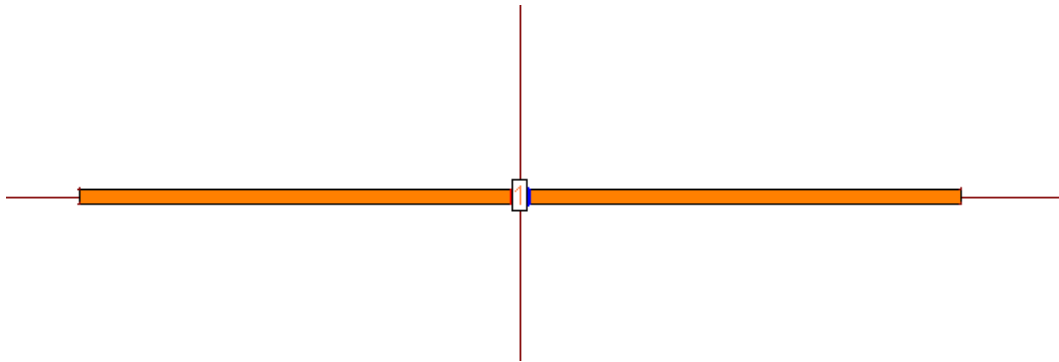
4.3.1.3 ESCENARI 3: DIPOL A 13,58 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

En aquest escenari s'ha tret l'estructura EBG entre el dipol i el pla de massa.



Il·lustració 133: Diagrama escenari: dipol a 13,58mm Ground Plane

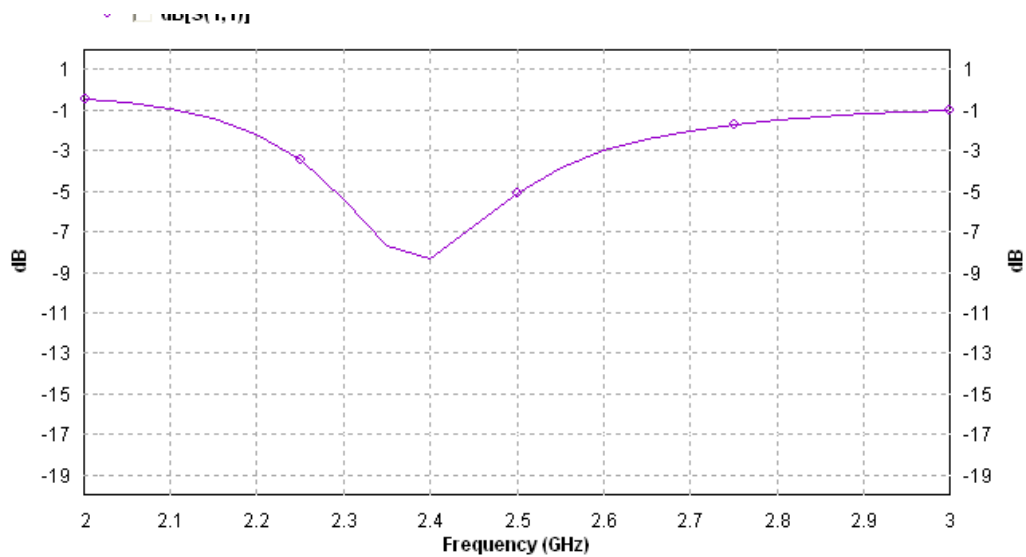
4.3.1.3.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 134: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 13,58 mm de pla de massa

4.3.1.3.2 PÈRDUES DE RETORN

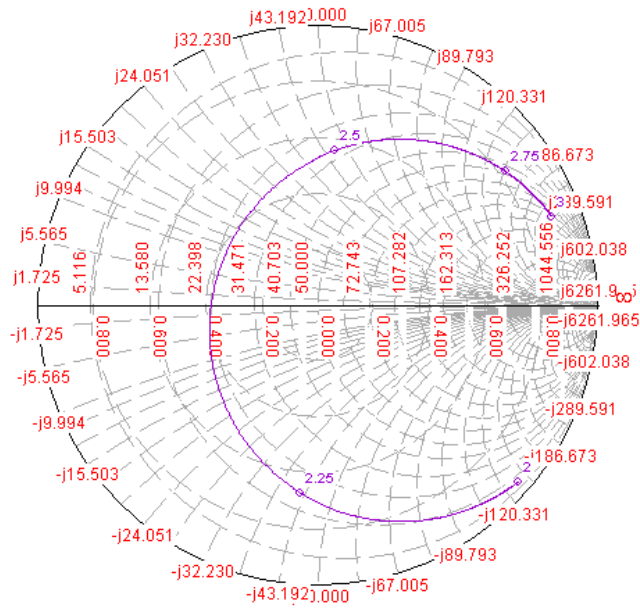
Les pèrdues de retorn pel dipol a 13,58mm d'un pla de massa són les de la Il·lustració 135, on es veu que la freqüència de ressonància és a 2,4 GHz.



Il·lustració 135: S11 de dipol a 13,58 mm del pla de massa

4.3.1.3.3 CARTA SMITH

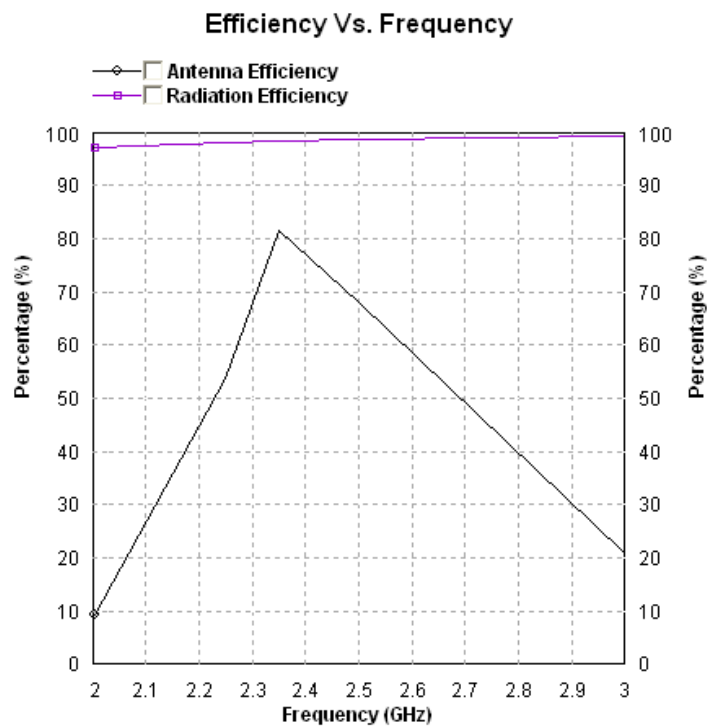
En aquest cas, com el dipol es torba a 13,58 mm del pla de massa segueix estant adaptat prou adaptat. Per una freqüència de 2,4 GHz aquesta té una longitud d'ona de 0,125 m, en cas que es volgués implementar sobre un PEC aquesta s'hauria de col·locar a $\lambda/4 = 31,25$ mm del pla de massa. Amb això es vol dir que per 13,58 es troba quasi a $\lambda/8$ del pla de massa.



Il·lustració 136: Carta de Smith de dipol a 13,58 mm de pla de massa

4.3.1.3.4 EFICIÈNCIA.

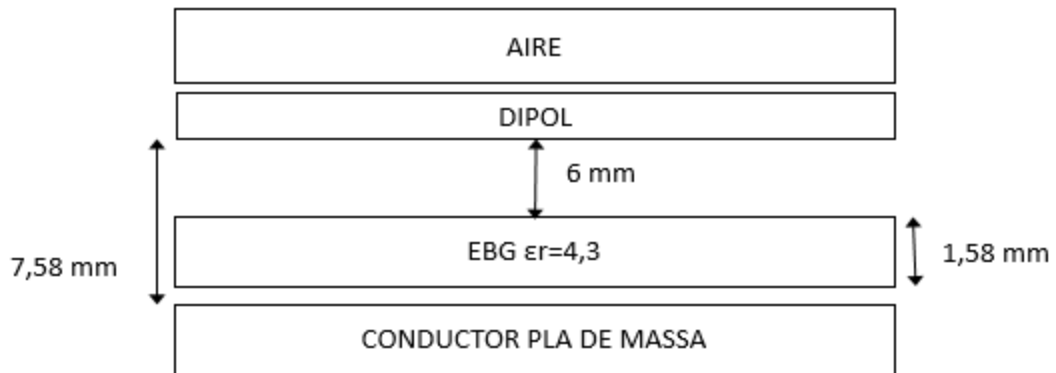
L'eficiència de radiació és quasi de 100% per totes les freqüències i l'eficiència d'antena té el màxim sobre els 2,35 GHz arribant fins a un 80%.



Il·lustració 137: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 13,58 mm de pla de massa

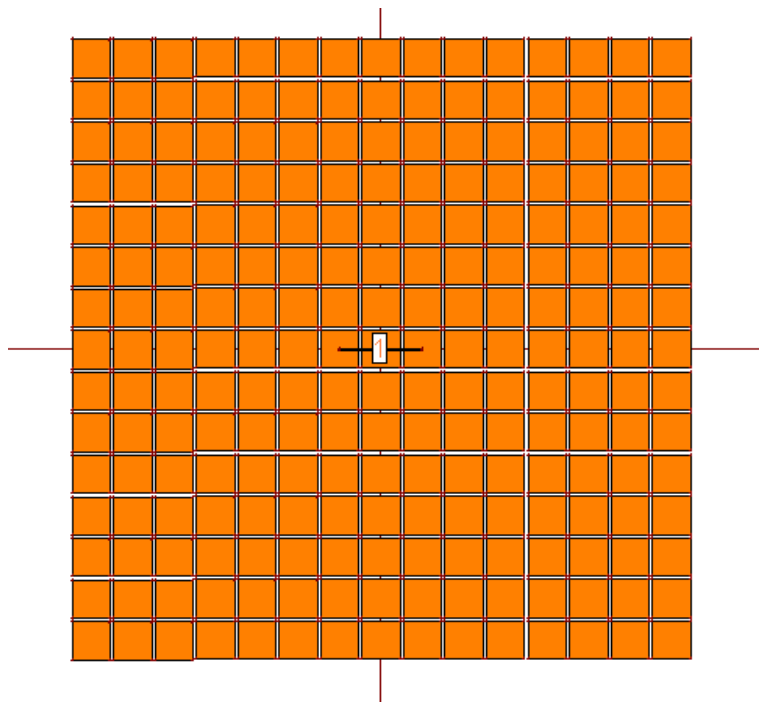
4.3.1.4 ESCENARI 4: DIPOL A 7,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG

A continuació s'ha col·locat encara més prop el dipol respecte el pla de massa fins a 7,58 mm d'aquest.



Il·lustració 138: Diagrama escenari: dipol a 7,58mm Ground Plane + EBG a 1,58 mm

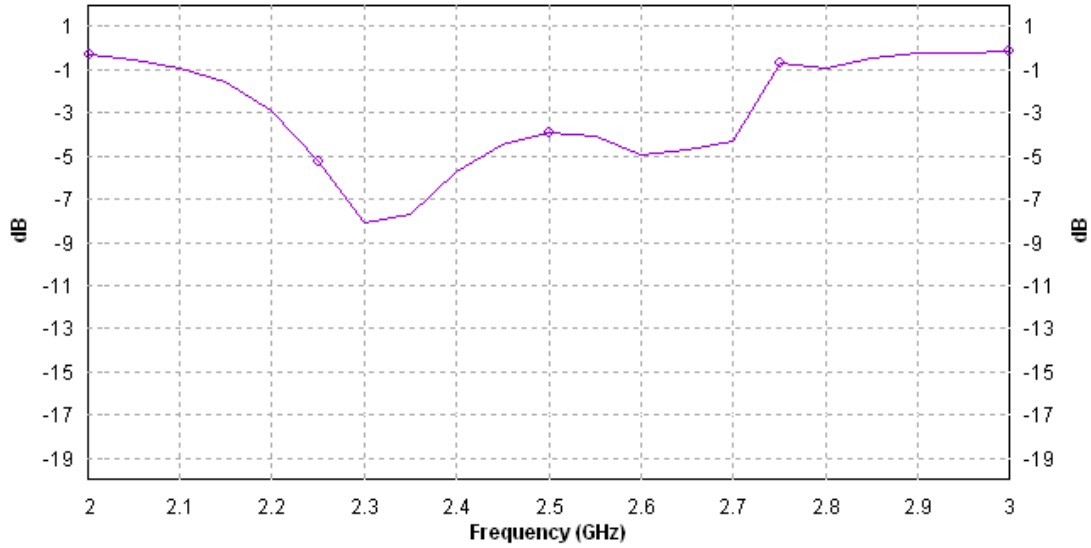
4.3.1.4.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 139: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58mm del pla de massa.

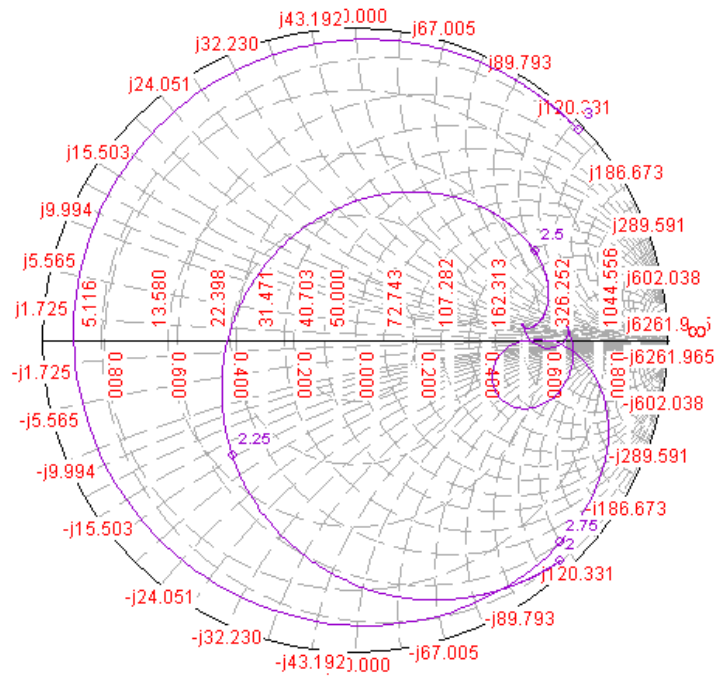
4.3.1.4.2 PÈRDUES DE RETURN

Les pèrdues de retorn per aquesta estructura són les que es mostren a la Il·lustració 140, on té unes pèrdues acceptables per 2,3 GHz i 2,35 GHz.



Il·lustració 140: S11 de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

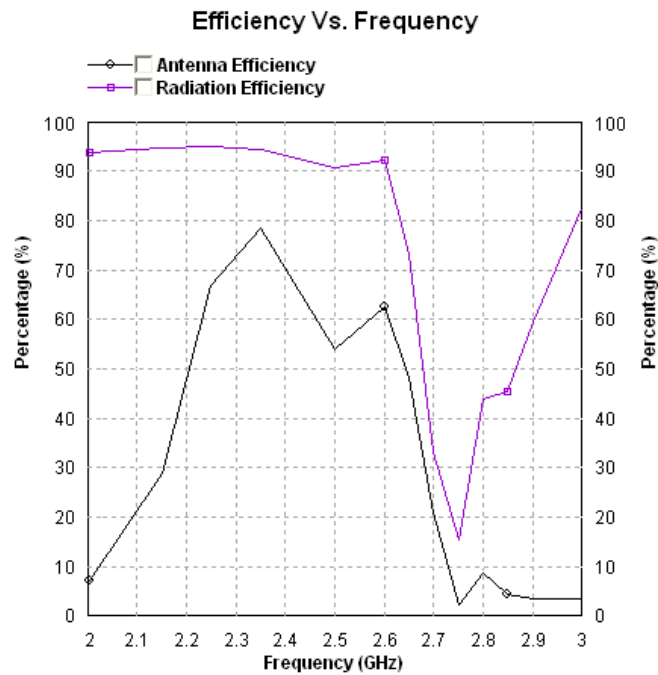
4.3.1.4.3 CARTA SMITH



Il·lustració 141: Carta de Smith de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

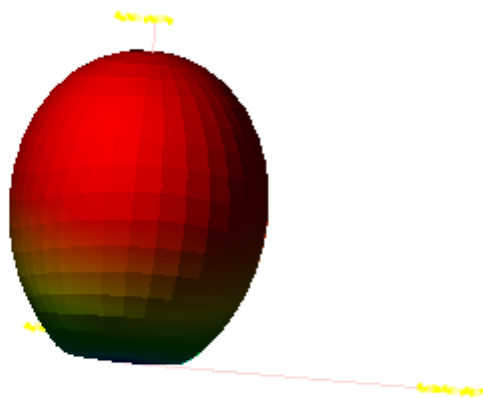
4.3.1.4.4 EFICIÈNCIA.

L'eficiència de radiació (Il·lustració 142) es veu mermada per la proximitat amb el pla de massa i l'EBG per sobre la freqüència de 2,6 GHz, pel que fa a l'eficiència d'antena aquesta estructura té la millor eficiència sobre els 2,35GHz on aquesta és d'un 80%.



Il·lustració 142: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.

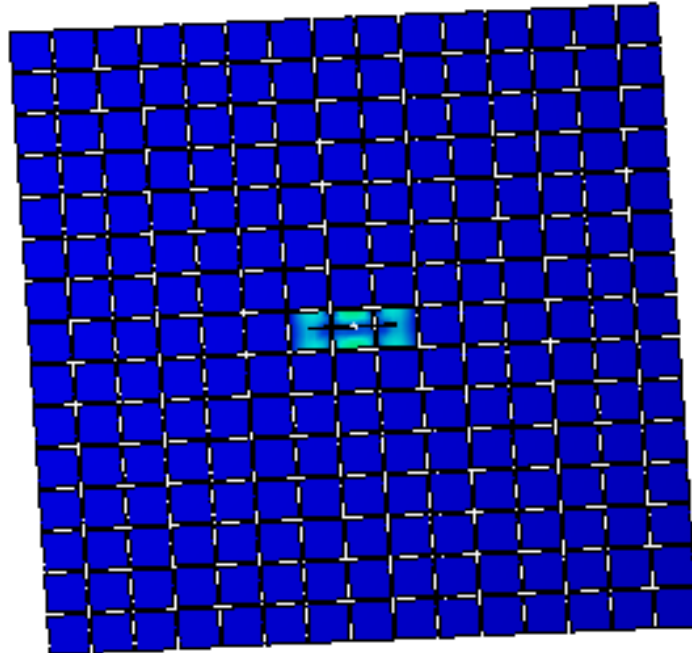
4.3.1.4.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ



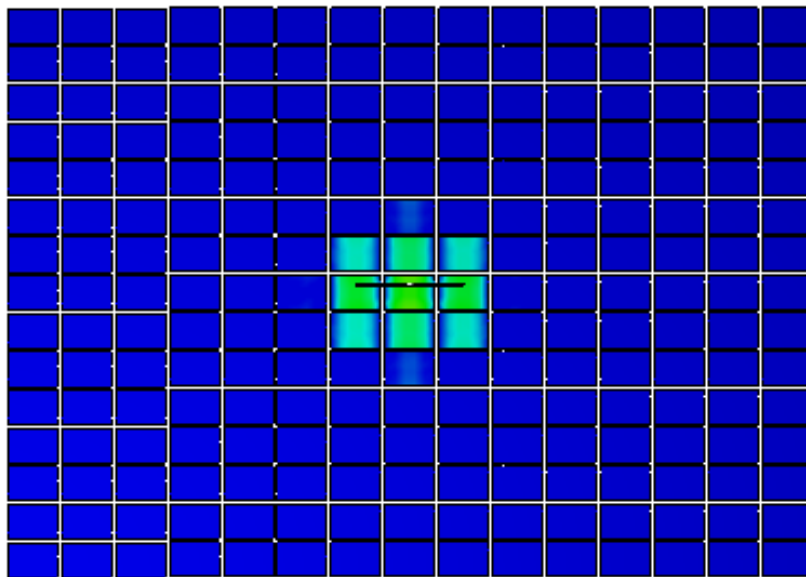
Il·lustració 143: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

4.3.1.4.6 CORRENT

El corrent que circula per l'estructura a la freqüència de 2GHz es pot observar a la Il·lustració 144 on hi ha molt poques cel·les il·luminades, en canvi a la freqüència de 2,4 GHz, hi ha més cel·les il·luminades i amb corrent més intens.



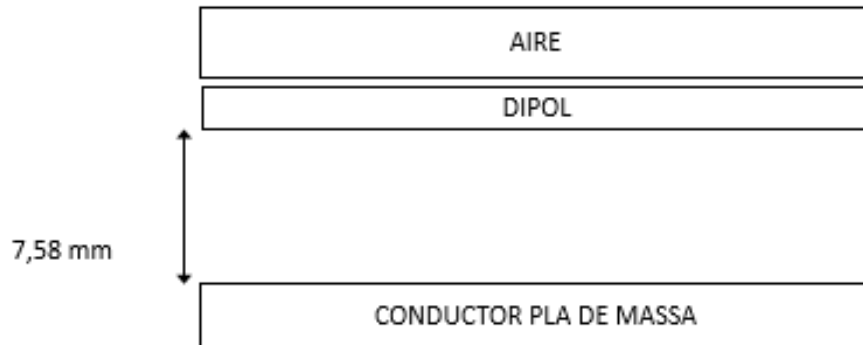
Il·lustració 144: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.



Il·lustració 145: Corrent a 2,4 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.

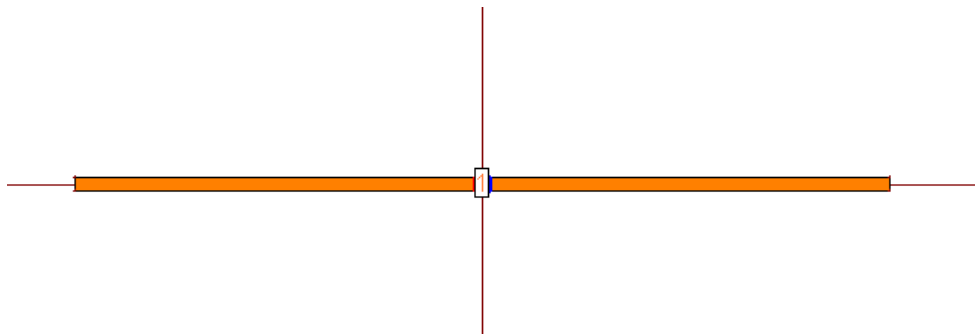
4.3.1.5 ESCENARI 5: DIPOL A 7,58 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

El següent anàlisi que es du a terme es treure l'estructura EBG mantenint el dipol a 7,58 mm respecte el pla de massa.



Il·lustració 146: Diagrama escenari: dipol a 7,58mm Ground Plane

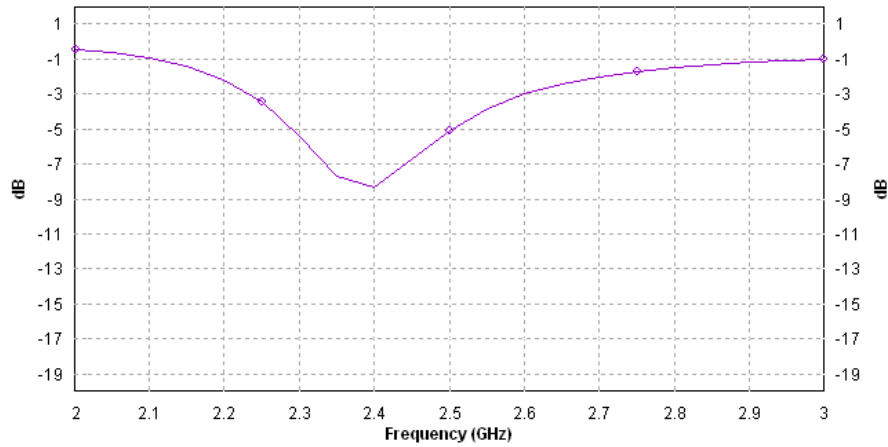
4.3.1.5.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 147: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa.

4.3.1.5.2 PÈRDUES DE RETORN

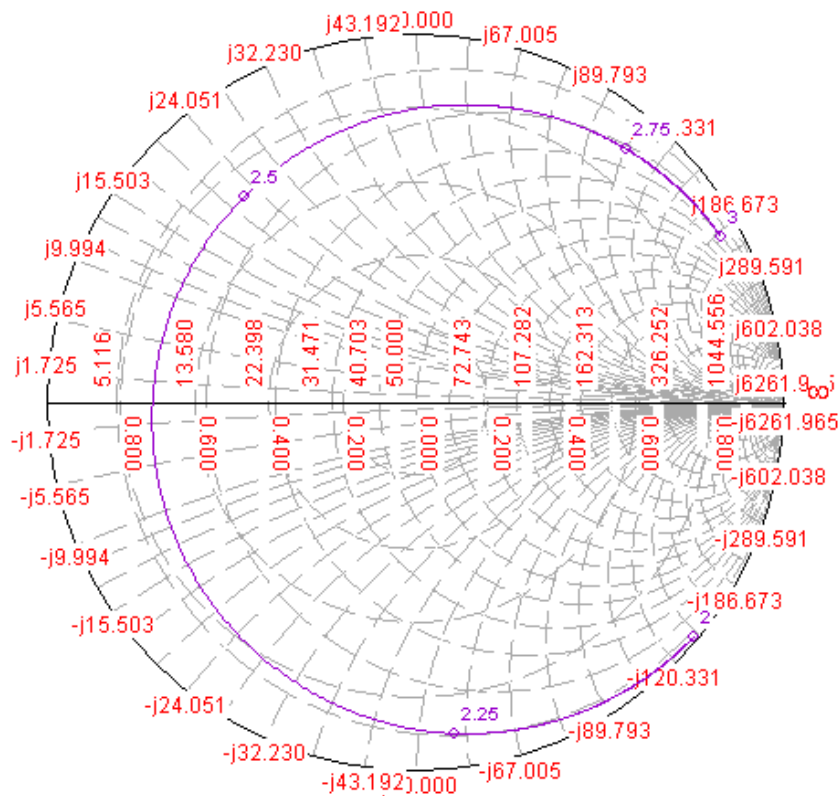
Les pèrdues de retorn (Il·lustració 148) no són dolentes a la freqüència de 2,4 GHz ja que s'obté fins aproximadament -9dB.



Il·lustració 148: S11 de dipol a 7,58 mm del pla de massa

4.3.1.5.3 CARTA SMITH

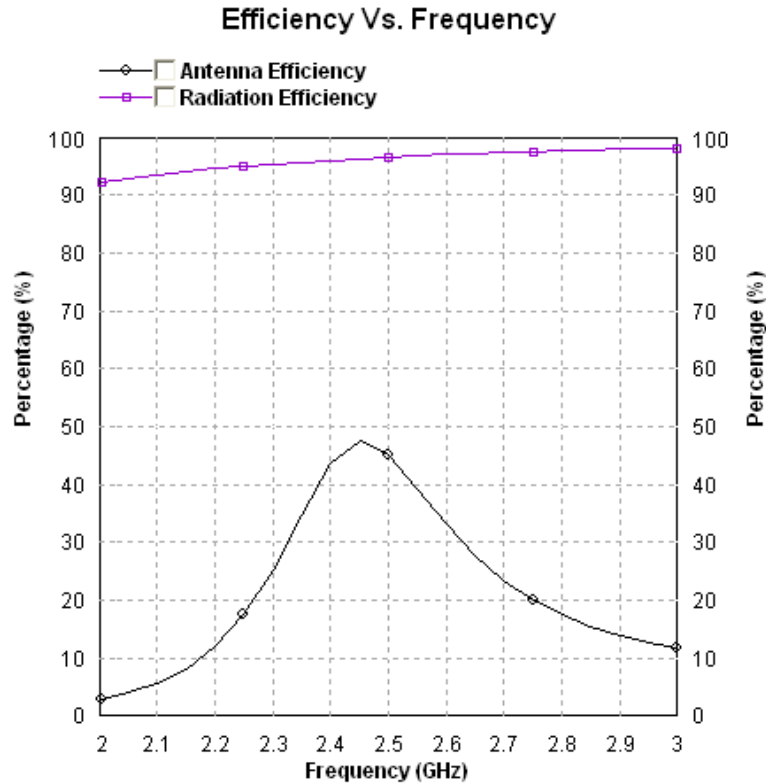
Sobre la carta de smith val a dir que està força desadaptat però no excessivament.



Il·lustració 149: Carta de Smith de dipol a 7,58 mm de pla de massa

4.3.1.5.4 EFICIÈNCIA.

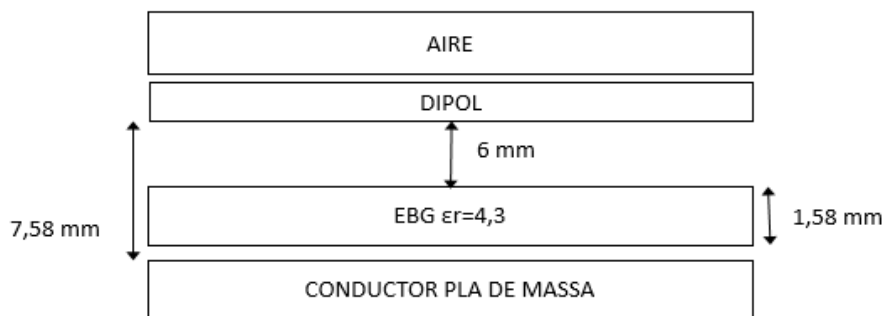
L'eficiència de radiació és de quasi el 100% per totes les freqüències en canvi l'eficiència d'antena està centrada als 2,45 Ghz. Tant l'eficiència de radiació com d'antena es poden veure a la Il·lustració 150.



Il·lustració 150: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 7,58 mm de pla de massa

4.3.1.6 ESCENARI 6: DIPOL a 7,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG DE $W_p=437,1$ mm

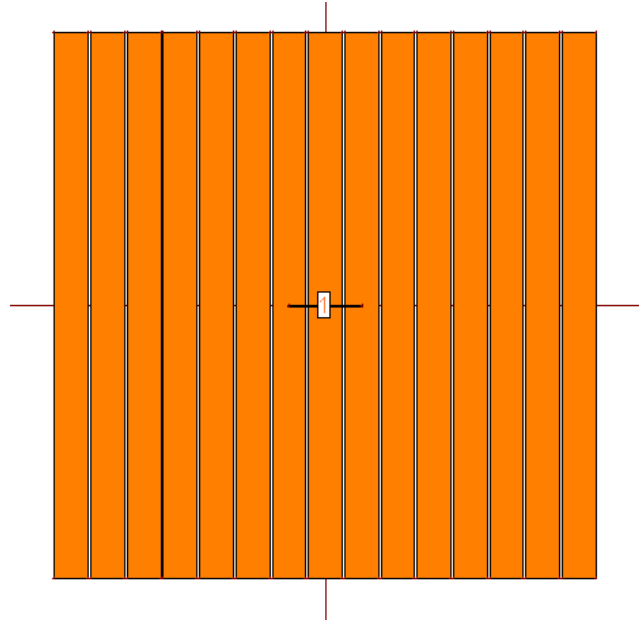
En l'article en qüestió realitza una comparativa de les pèrdues de retorn variant l'amplada del pedaç pel que s'ha aprofitat per realitzar un altre estudi mitjançant el pedaç més ample.



Il·lustració 151: Diagrama escenari: dipol a 7,58mm Ground Plane + EBG amb $W_p=437,1$ mm a 1,58 mm.

4.3.1.6.1 ESTRUCTURA

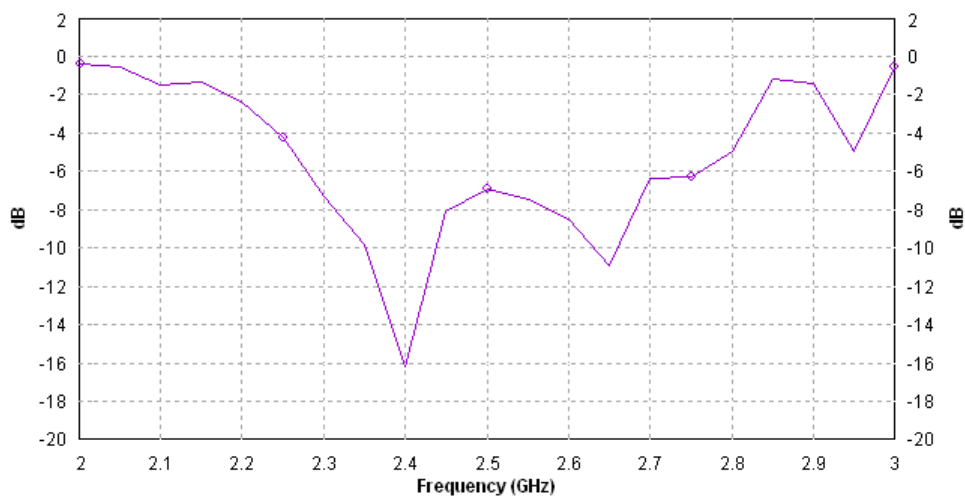
L'estructura creada en IE3D és la que es mostra en la Il·lustració 152, on es poden veure els pedaços que en aquest cas ocupen quasi tota l'amplada de l'array transformant-se en un array de 15x1.



Il·lustració 152: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb $W_p=437,1$ mm a 1,58mm del pla de massa.

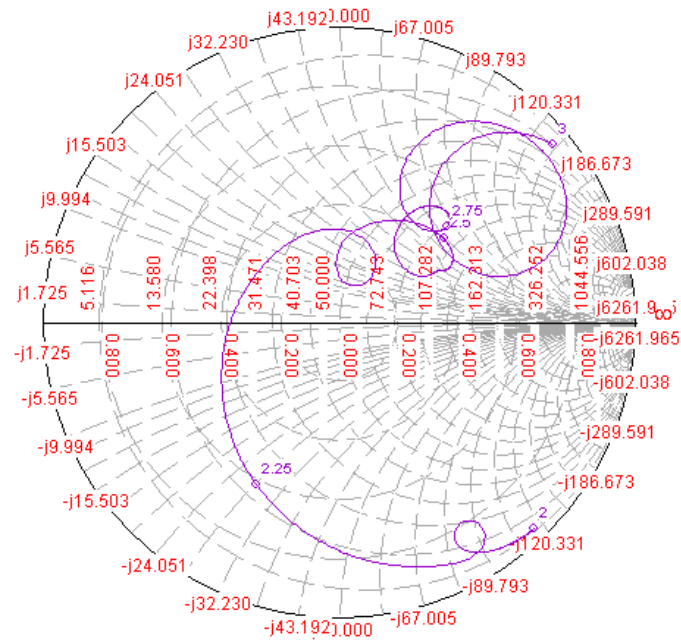
4.3.1.6.2 PÈRDUES DE RETORN

Per aquesta estructura les millors pèrdues de retorn (Il·lustració 153 són a la freqüència de 2,4 GHz tot i que a la freqüència de 2,65 GHz també tenen unes pèrdues de retorn força acceptables.



Il·lustració 153: S11 de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG amb $W_p=437,1$ mm a 1,58 mm del pla de massa.

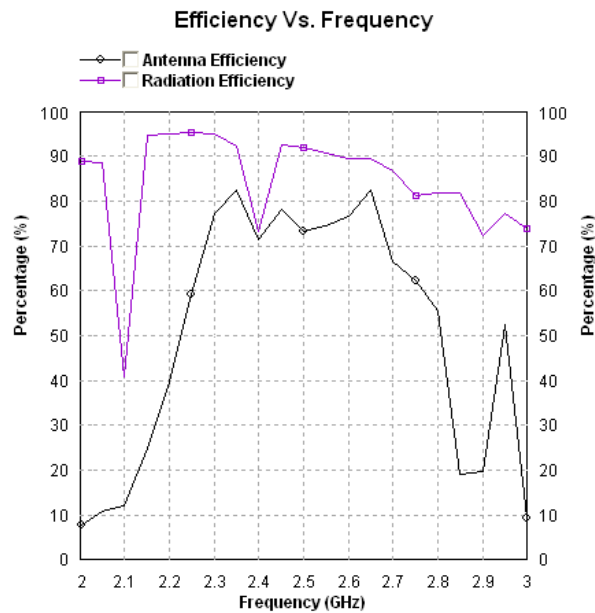
4.3.1.6.3 CARTA SMITH



Il·lustració 154: Il·lustració 141: Carta de Smith de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb WP=437,1 a 1,58 mm del pla de massa

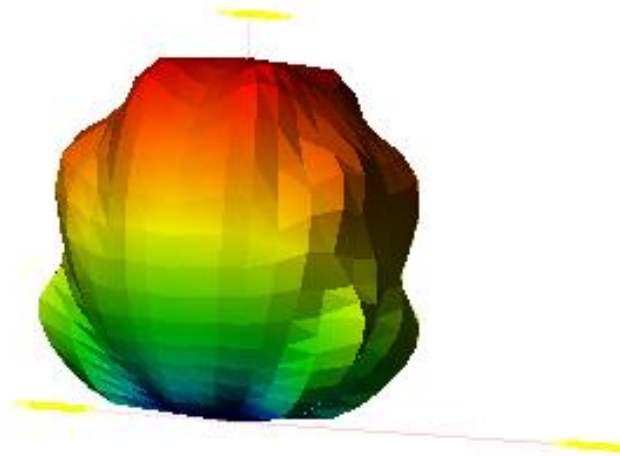
4.3.1.6.4 EFICIÈNCIA.

L'eficiència de radiació es veu afectada per l'estructura EBG a la freqüència de 2,4 la qual limita l'eficiència d'antena tot i així aquesta és de 70% a 2,4 GHz i de 80% a 2,35 GHz (Il·lustració 155).



Il·lustració 155: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb WP=437,1 a 1,58 mm de pla de massa.

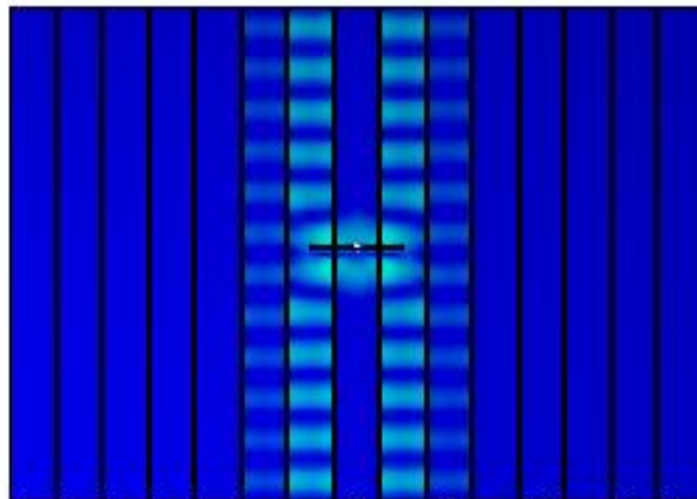
4.3.1.6.5 DIAGRAMA DE RADIACIÓ



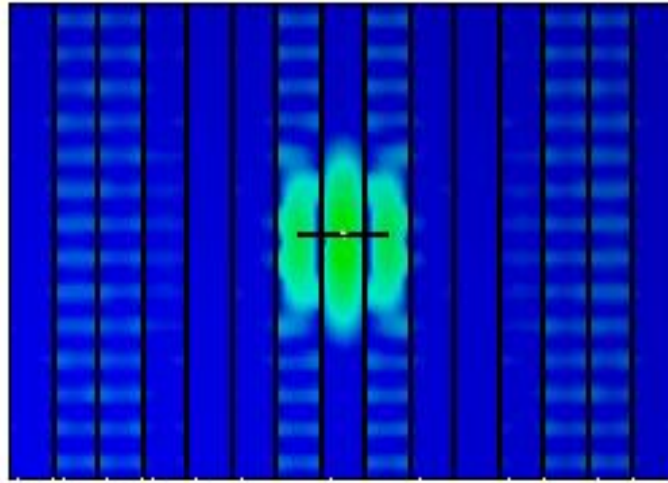
Il·lustració 156: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb WP=437,1 mm a 1,58 mm del pla de massa.

4.3.1.6.6 CORRENT

El corrent de l'estructura a 2GHz és el que es mostra en la Il·lustració 157 on els pedaços són il·luminats amb corrents fluixos en canvi a la Il·lustració 158, l'estructura al voltant del dipol es veu il·luminada amb un corrent més intens.



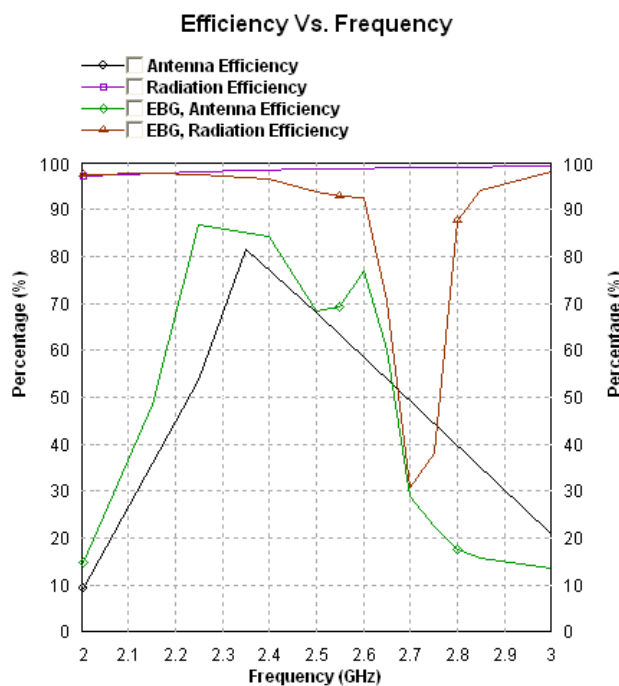
Il·lustració 157: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG amb WP=437,1 mm a 1,58 mm de pla de massa.



Il·lustració 158: Corrent a 2,4 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG amb WP=437,1 mm a 1,58 mm de pla de massa.

4.3.2 CONCLUSIONS

A la Il·lustració 159 es mostren les eficiències tant d'antena com de radiació de l'estructura a 13,58 mm amb i sense EBG. A primer com d'ull es pot dir que implementar un EBG per situar el dipol a aquesta alçada no aporta cap gran benefici ja que l'eficiència a 2,3 - 2,4 GHz. Amb EBG és del 85% i sense EBG d'aproximadament el 80%. L'avantatge que aporta el EBG és que aquest no té una gran eficiència per les freqüències superiors a 2,7 GHz pel que generaria menys interferències a la resta de freqüències entre 2,7 GHz i 3 GHz.

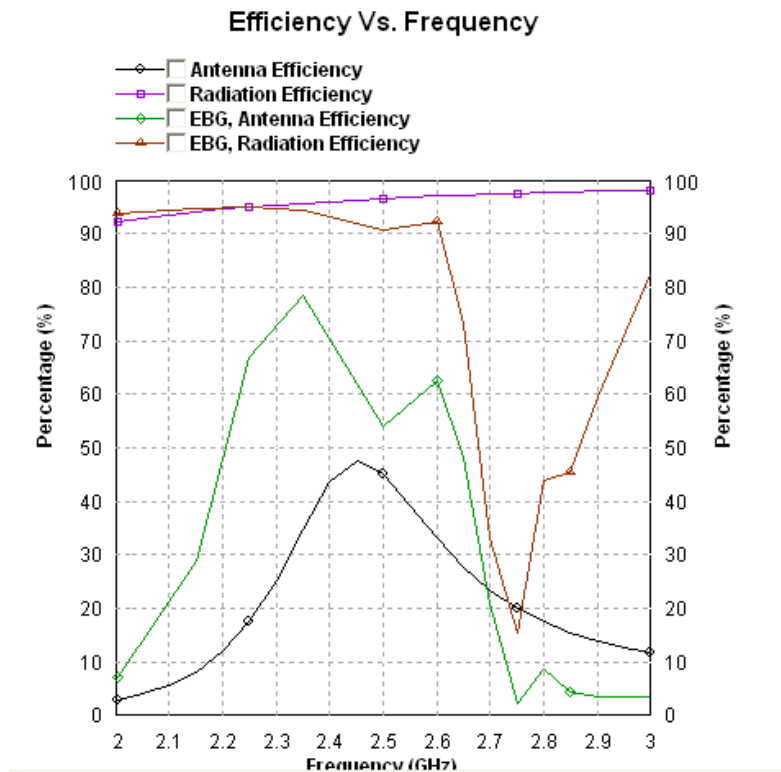


Il·lustració 159: es compara l'eficiència entre el dipol a 13,58mm amb i sense EBG

A la Il·lustració 160 es mostra de nou la comparació entre l'eficiència d'antena i de radiació amb i sense EBG però en aquest cas amb el dipol 7,58 mm del pla de massa.

En aquest cas, implementar l'EBG seria més útil que en cas anterior ja que a 2,4 GHz sense EBG es té una eficiència d'antena de quasi el 50% i amb EBG del 65% a més de tenir també millor eficiència d'antena, entre 2,3 GHz i 2,4GHz arribant a un 80%.

Com en els dos casos l'eficiència de radiació és molt semblant fins a la freqüència de 2,6 GHz, per tant si es col·loqué una xarxa d'adaptació a l'antena sense EBG es podria arribar a tenir la mateixa eficiència d'antena.

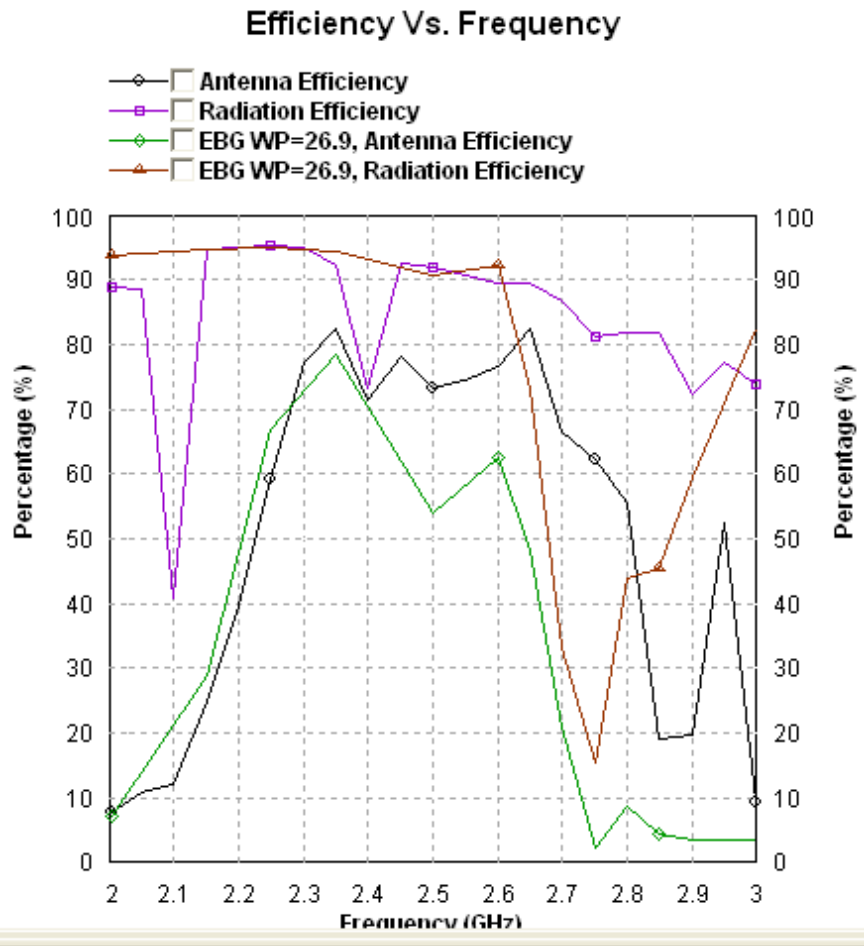


Il·lustració 160: es compara l'eficiència entre el dipol a 7,58mm amb i sense

A la Il·lustració 161 es mostra l'eficiència d'antena i radiació un amb l'array de pedaços de 26,9 mm i l'altre amb els pedaços de 437,1 mm d'ample.

Primer es comparà l'eficiència de radiació on a primer cop d'ull es veu que per una amplada de 26,9 mm en comparació al de 437,1 mm presenta una millor eficiència més estable a la banda d'interès 2,3GHz – 2,5 GHz. Sobre l'eficiència d'antena val a dir que presenta una millor eficiència en quasi tot el rang d'interès

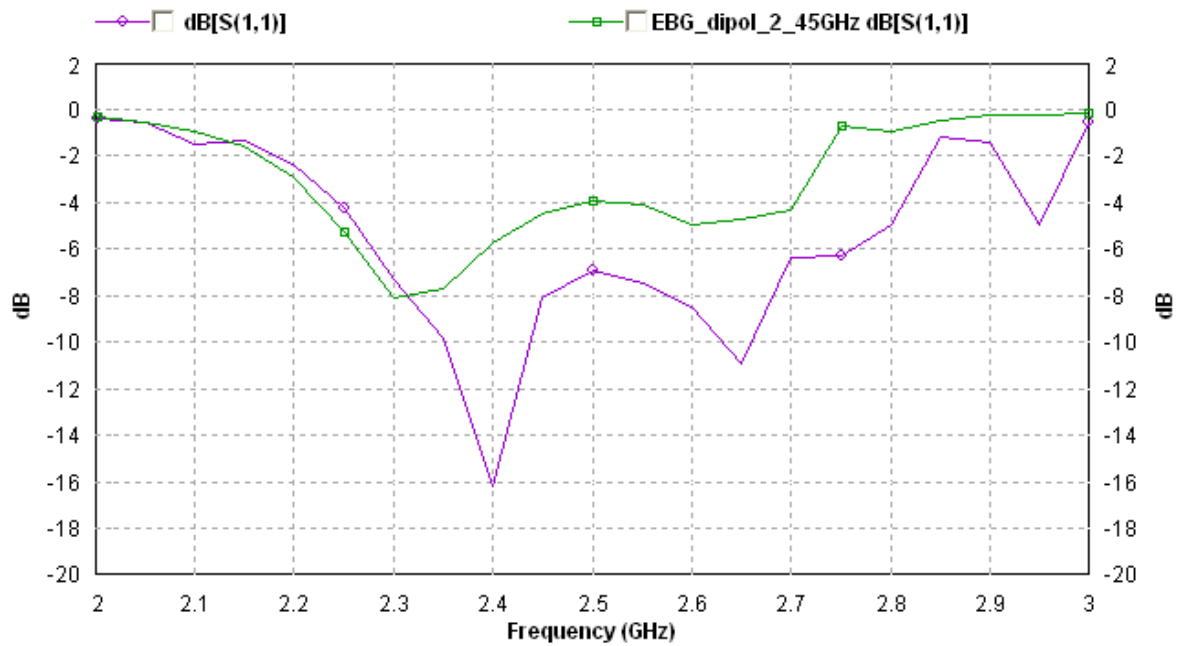
l'EBG amb pedaços de 437,1 mm on arriba fins a 80% a la freqüència de 2,35GHz tot i que a 2,4 GHz aquesta es veu limitada per l'eficiència de radiació.



Il·lustració 161: comparativa l'eficiència entre el dipol a 7,58mm amb EBG Wp=26,9 i amb EBG Wp=437,1 mm

Per sumar més detall a l'anàlisi, es comparen les pèrdues de retorn entre les dues estructures EBG en la Il·lustració 162.

On s'observa que a 2,4 GHz l'estructura amb els pedaços de 437,1 mm té uns millors resultats.



Il·lustració 162: Es compara el S11 pel dipol a 7,58mm amb EBG de Wp=26,9 i amb EBG de Wp=437,1 mm

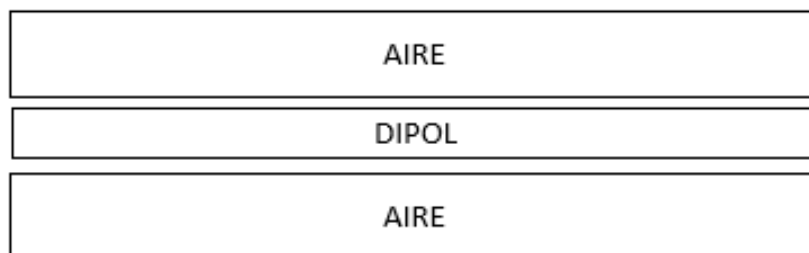
4.4 ESTUDI 4: HIGH-IMPEDANCE SURFACE DESIGN CONSIDERATIONS [11]

Julien Sarrazin, Anne-Claire Lepage, Xavier Begaud

El present estudi està basat en el mateix article i estructura que l'estudi 4, però en aquest cas s'ha decidit realitzar un dipol miniatura per analitzar millor com es comporta l'eficiència ja que com és ben sabut, miniaturitzar sempre comporta una reducció de l'eficiència de radiació.

4.4.1 SIMULACIONS

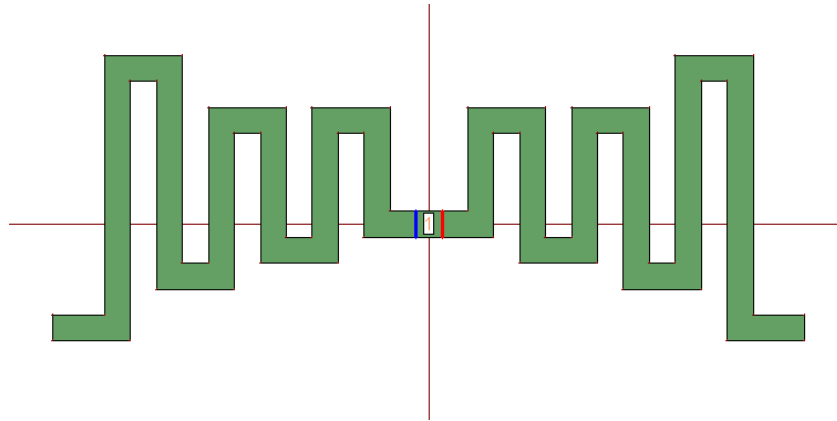
4.4.1.1 ESCENARI 1: ESPAI LLIURE ESTRUCTURA



Il·lustració 163: Escenari dipol serpenti lliure a 2,45 GHz.

4.4.1.1.1 ESTRUCTURA

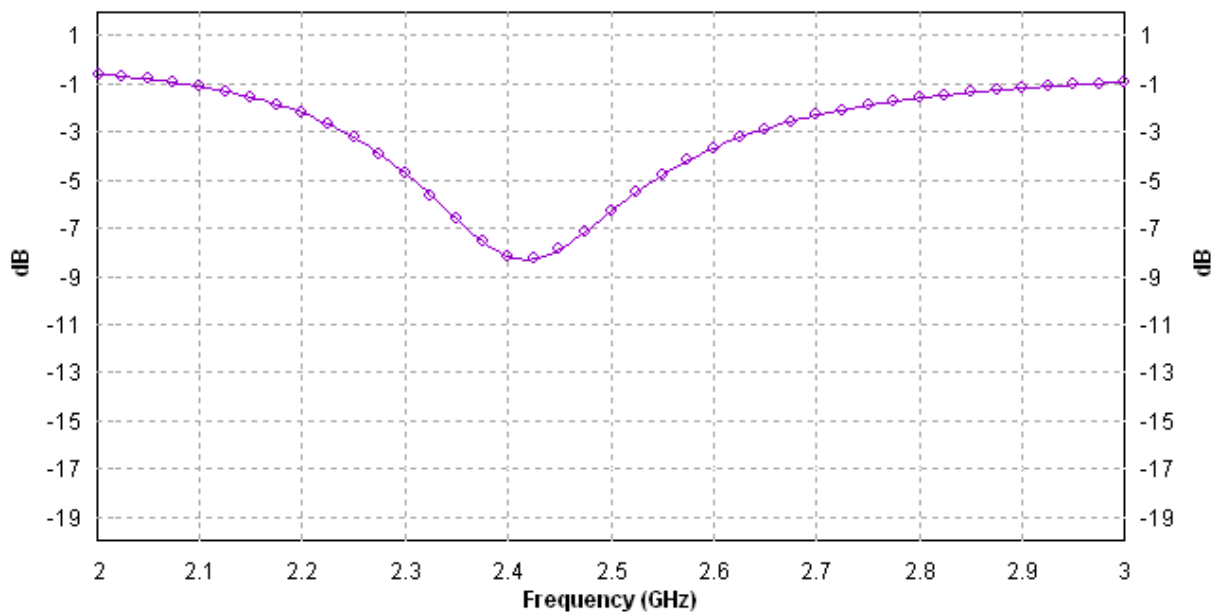
Per tal de miniaturitzar el dipol recte anterior i analitzar l'estructura davant una antena miniaturitzada, s'ha serpentejat el dipol fins que aquest ha ressonat freqüència 2,45 GHz com es pot veure Il·lustració 164



Il·lustració 164: 121: Dipol serpentejat en IE3D - espai lliure 2,45GHz

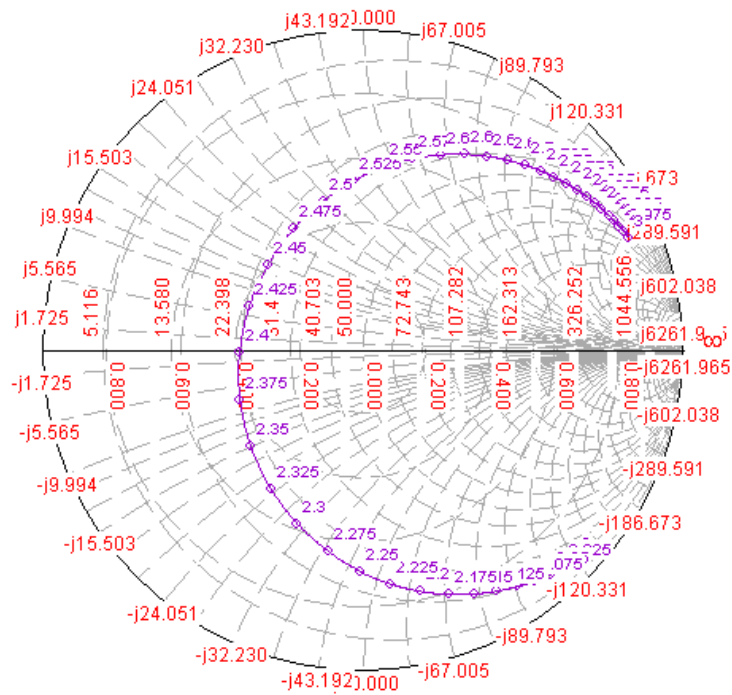
4.4.1.1.2 PÈRDUES DE RETORN

Les pèrdues de retorn pel dipol miniaturitzat són les mostrades a la Il·lustració 165, on s'observa que les millors pèrdues de retorn són a 2,45 GHz.



Il·lustració 165: S11 - Dipol serpentejat en espai lliure 2,45 GHz - IE3D

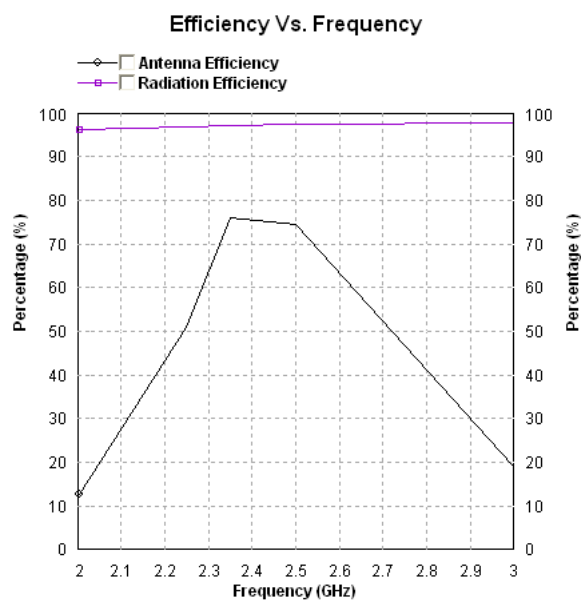
4.4.1.1.3 CARTA SMITH



Il·lustració 166: Carta Smith - Dipol serpenti 2,45 GHz en espai lliure - IE3D

4.4.1.1.4 EFICIÈNCIA.

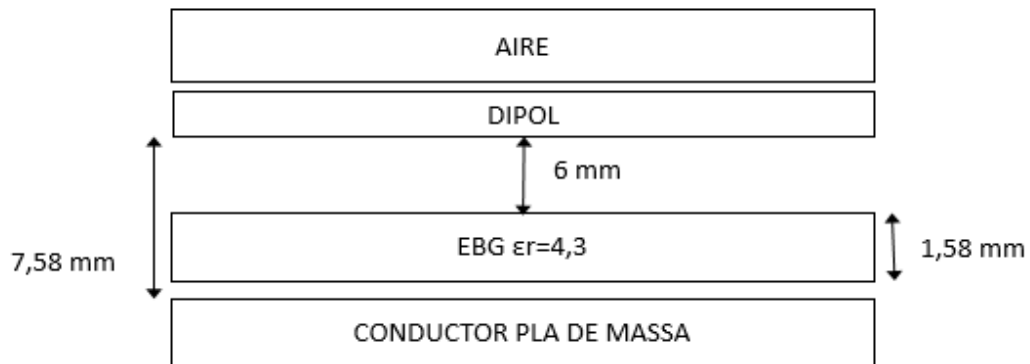
Pel que fa a l'eficiència aquesta es pot veure a la Il·lustració 167, on s'observa que l'eficiència de radiació és constant i l'eficiència d'antena és de quasi el 80%.



Il·lustració 167: Eficiència d'antena i de radiació del dipol serpenti a 2,45 GHz

ESCENARI 2: DIPOL SERPENTÍ a 7,58 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG.

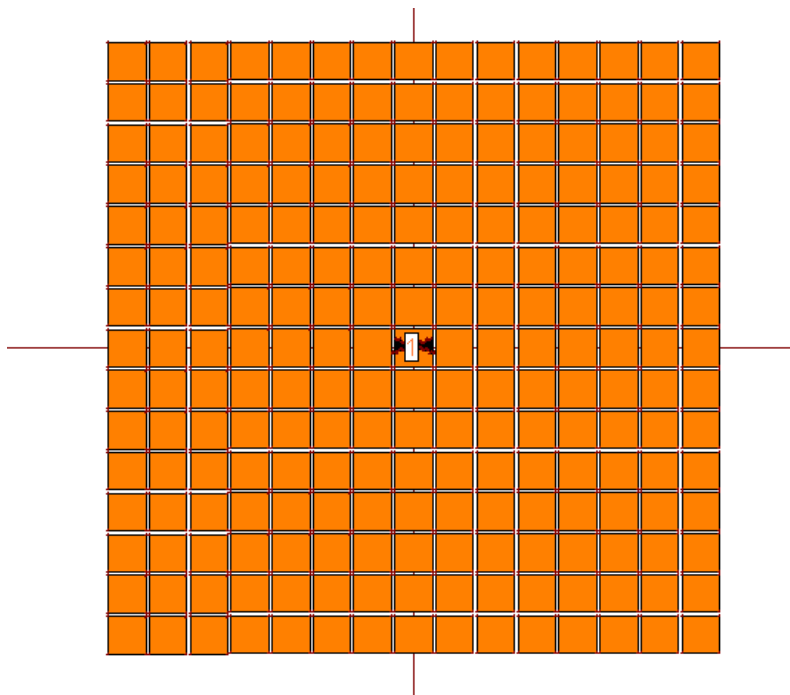
En aquest escenari s'ha col·locat el dipol miniaturitzat sobre l'estructura anteriorment creada i a 7,58 mm del pla de massa ja que es tracta de l'escenari més crític que s'ha provat.



Il·lustració 168: Diagrama escenari: dipol serpentí a 7,58mm Ground Plane + EBG a 1,58 mm

4.4.1.1.5 ESTRUCTURA

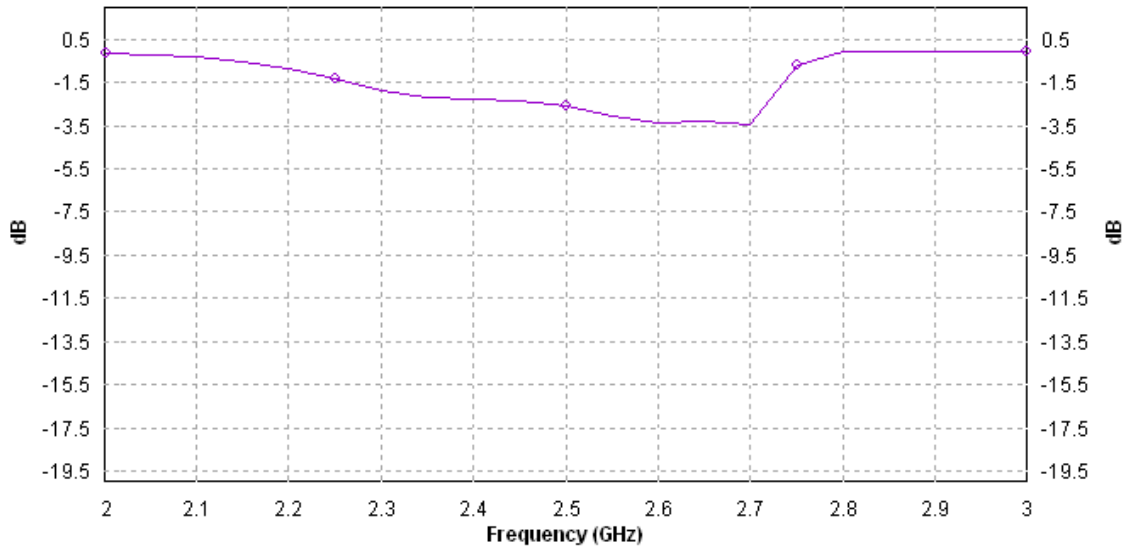
A la Il·lustració 169 es mostra l'estructura creada amb un array de 15x15 cel·les i el dipol serpentí a sobre.



Il·lustració 169: Vista des de dalt en IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58mm del pla de massa.

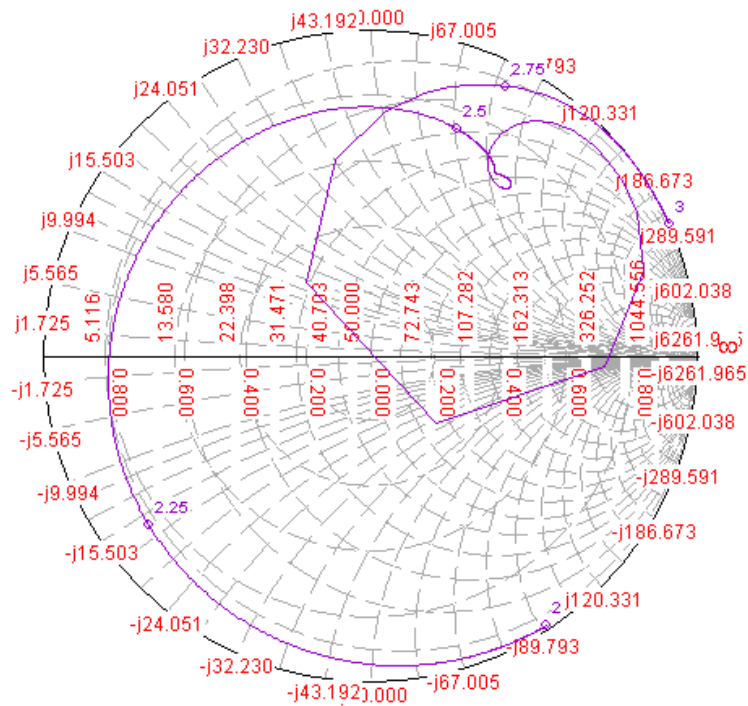
4.4.1.1.6 PÈRDUES DE RETORN

Les pèrdues de retorn per aquest cas es veu com no són les esperades ni les desitjades ja que no s'observa que aquesta estructura treballi correctament al voltant dels 2,45 GHz.



Il·lustració 170: S11 de dipol serpentiní a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

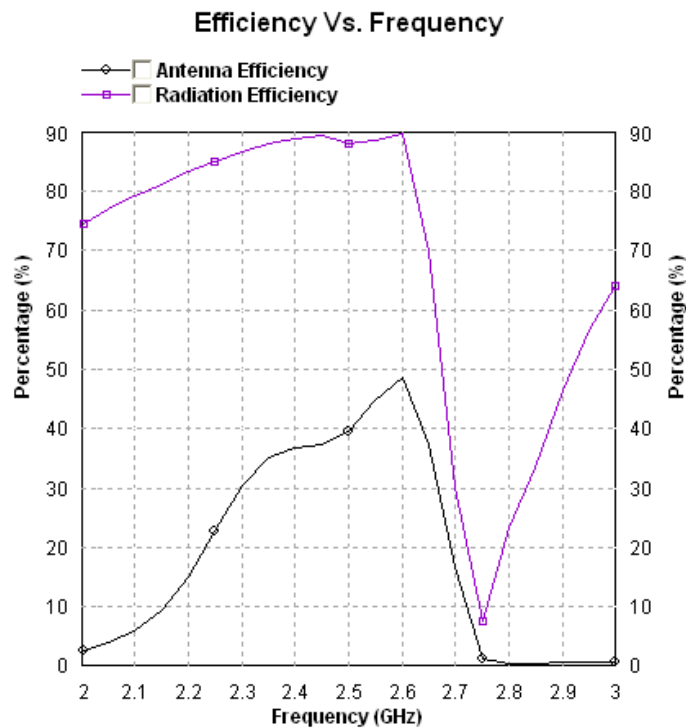
4.4.1.1.7 CARTA SMITH



Il·lustració 171: Carta de Smith de dipol serpentiní a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.

4.4.1.1.8 EFICIÈNCIA.

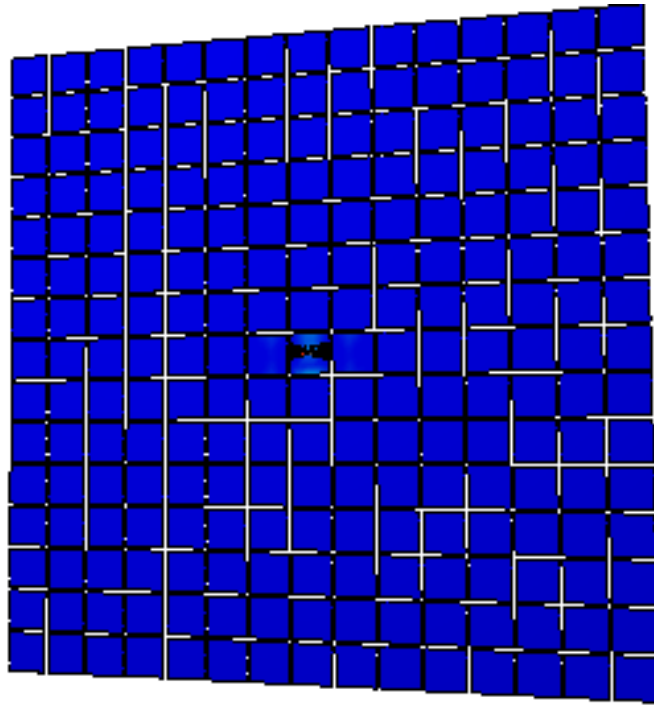
A la Il·lustració 172, s'observa com l'eficiència de radiació als 2 GHz està sobre els 75%, a la freqüència de 2,45 GHz està quasi al 100% i als 2,7 GHz cau en picat. Respecte a l'eficiència d'antena, a 2,45 GHz s'obté una eficiència de quasi el 40% i a 2,6 GHz del 50%.



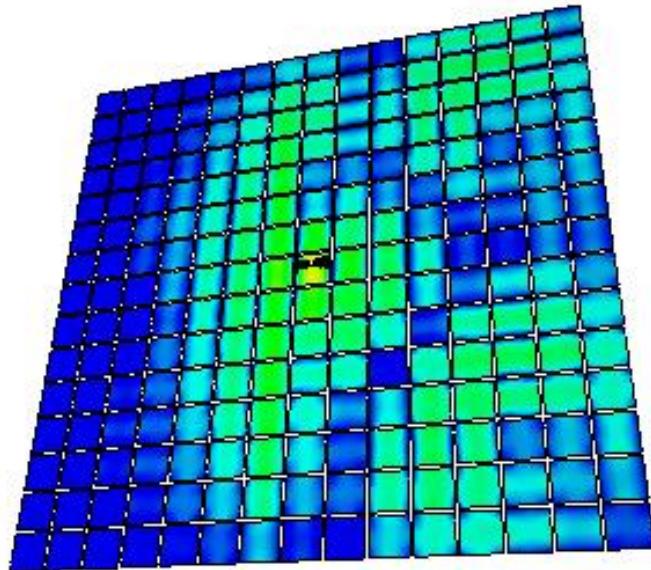
Il·lustració 172:Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.

4.4.1.1.9 CORRENT

El corrent de l'estructura a 2GHz és la que es mostra a la figura Il·lustració 173 on les cel·les no estan gens il·luminades, en canvi a 2,75Ghz com en la Il·lustració 175 sí ho estan.

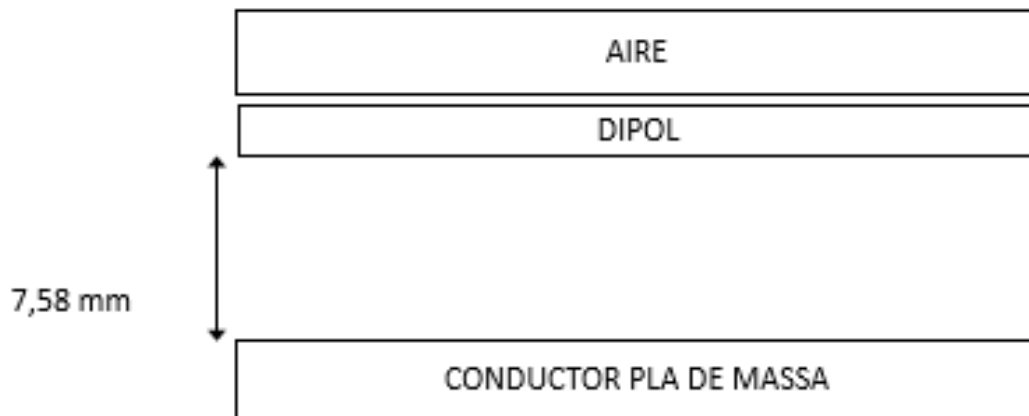


Il·lustració 173: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.



Il·lustració 174: Corrent a 2,75 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.

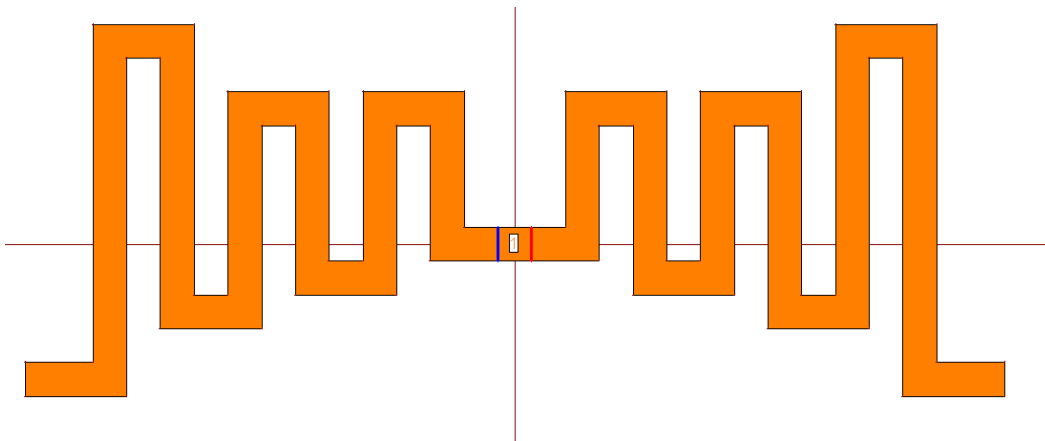
4.4.1.2 ESCENARI 3: DIPOL SERPENTÍ a 7,58 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG



Il·lustració 175: Diagrama escenari: dipol serpentí a 7,58mm Ground Plane

4.4.1.2.1 ESTRUCTURA

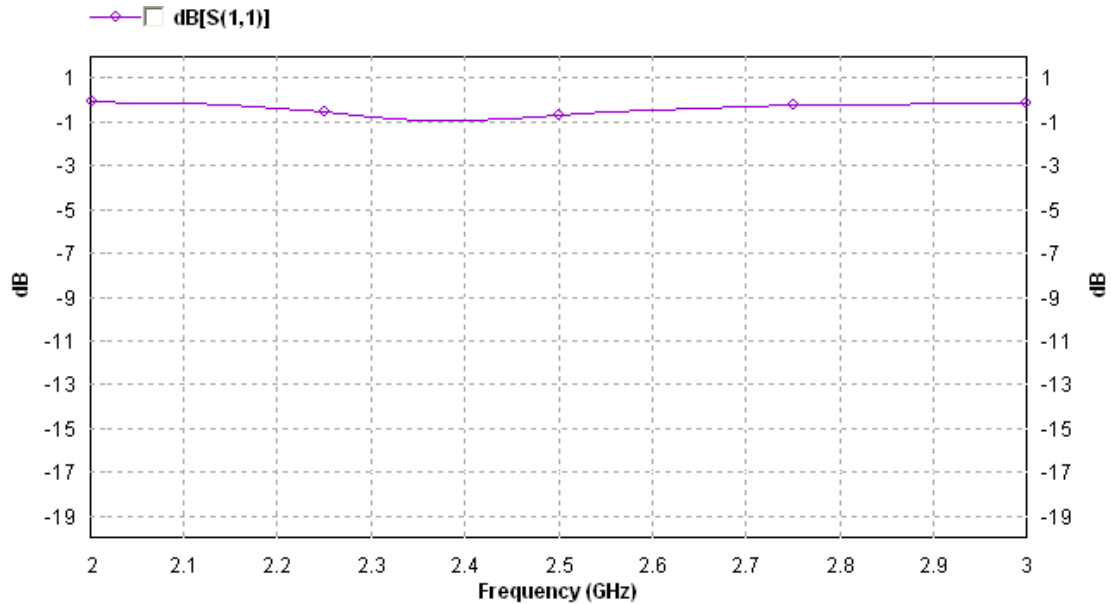
Com en l'estudi anterior s'ha tret l'EBG per comprovar el comportament de l'antena sense aquest.



Il·lustració 176: Vista des de dalt en IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa

4.4.1.2.2 PÈRDUES DE RETORN

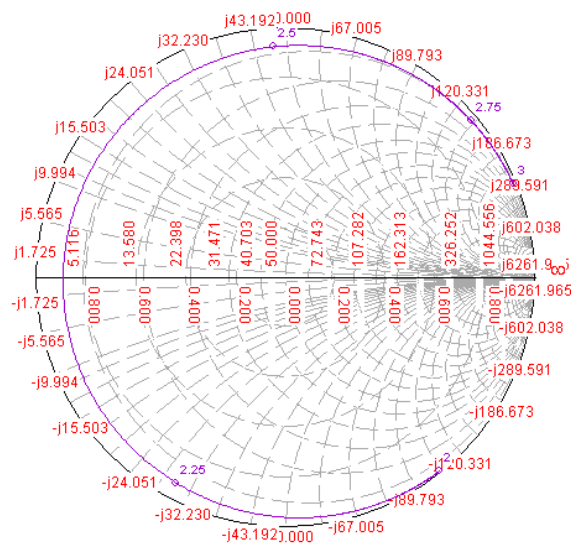
Com es pot observar al miniaturitzar l'antena i col·locar-la a 7,58 mm del pla de massa no té unes bones pèrdues de retorn (Il·lustració 177).



Il·lustració 177: S11 de dipol serpenti a 7,58 mm del pla de massa

4.4.1.2.3 CARTA SMITH

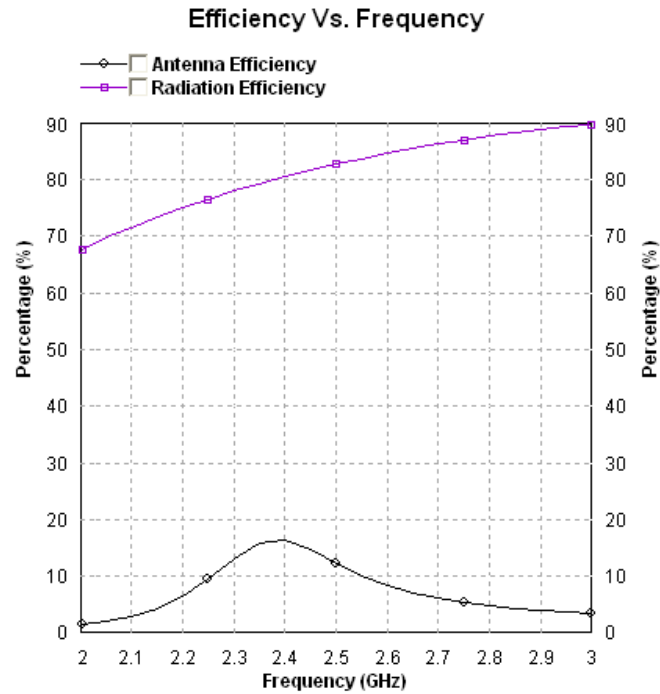
Com s'observa en la carta de Smith (Il·lustració 178), l'antena no està adaptada per cap freqüència.



Il·lustració 178: Carta de Smith de dipol serpenti a 7,58 mm de pla de massa.

4.4.1.2.4 EFICIÈNCIA.

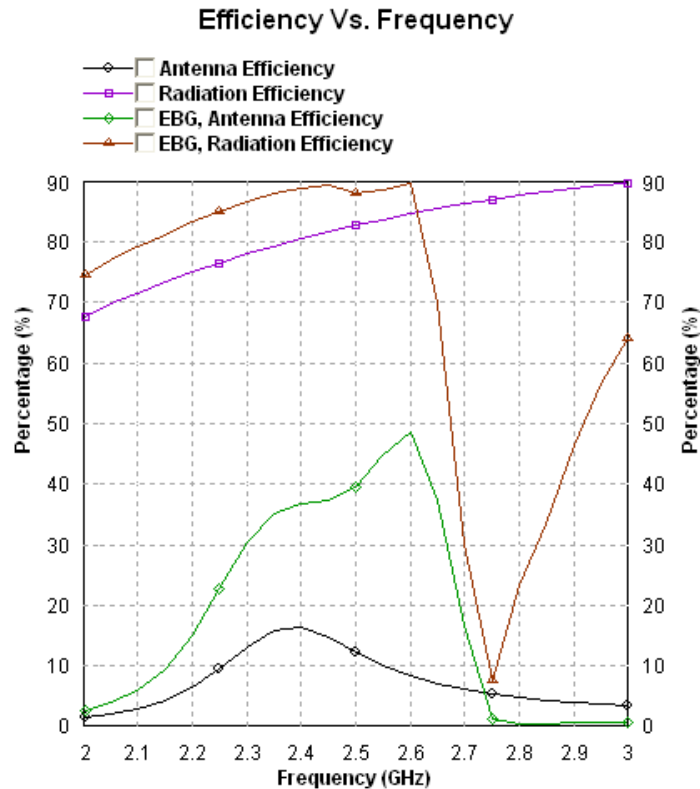
L'eficiència de radiació a 2 GHz és del 70% i va en augment amb la freqüència, pel que fa a l'eficiència d'antena aquesta es veu centrada a 2,4 GHz.



Il·lustració 179: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol serpentin a 7,58 mm de pla de massa

4.4.2 CONCLUSIONS

A les conclusions a les que s'arriba en aquest estudi es que EBG sembla que funciona millor amb antenes miniaturitzades ja que com es pot veure en la comparació entre eficiències, l'estructura amb EBG presenta unes millors eficiències de radiació per la banda de disseny en a més d'ofrir millor eficiència d'antena.



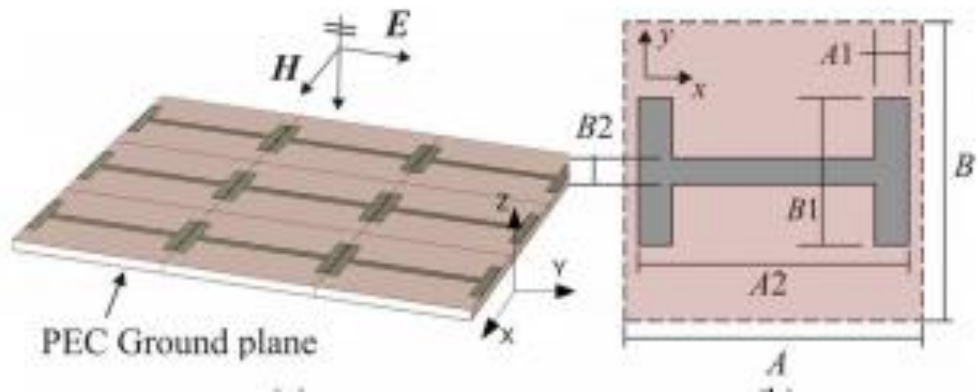
Il·lustració 180: es compara l'eficiència entre el dipol serpenti a 7,58mm amb i sense

4.5 ESTUDI 5 : LOW PROFILE FULLY PLANAR FOLDED DIPOLE ANTENNA ON A HIGH IMPEDANCE SURFACE [16].

Andrea Vallecchi, Javier R. De Luis, Filippo Capolino and Franco De Flaviis

En aquest estudi es presenta una estructura HIS composta per un array d'ossos impresos sobre un substrat dielèctric on darrera seu té un pla de massa metàl·lic. Es treballarà amb un dipol imprès sobre el dielèctric que ressona a la freqüència de $\lambda_0 = 5,5$ GHz amb un gruix de 1mm ($0,018 \cdot \lambda_0$) situat a 1,61 mm ($0,0295 \cdot \lambda_0$) del HIS, o sigui a 3.22 mm del pla de massa ($0,059 \cdot \lambda_0$)

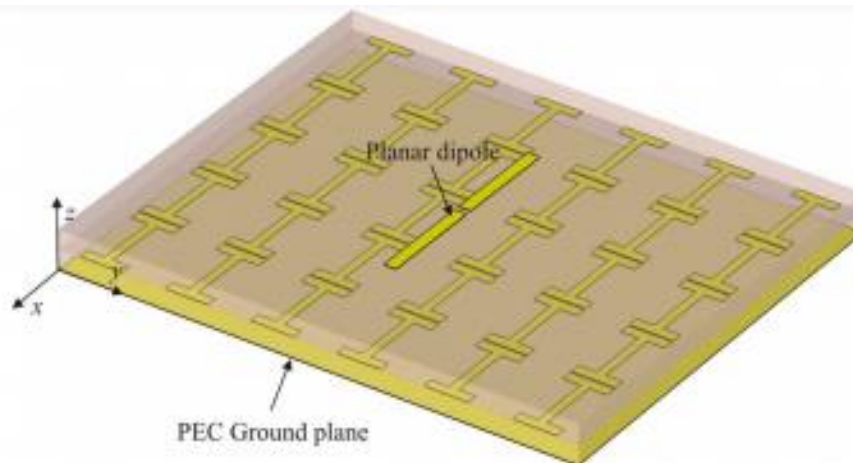
L'estructura HIS és la que es mostra a continuació i està formada per trenta ossets (6x5 unitats de cel·la) creant un total de 34,8 x 35.8 mm.



Il·lustració 181: Cel·la HIS d'ossos.

MIDES:
A=7mm
B=7mm
A1=0,875 mm
B1=3,5 mm
A2=6,83 mm
B2 = 0,7 mm

Taula 9: Mides CEL·LA HIS OSSOS



Il·lustració 182: Estructura HIS 6x5 ossos

El gruix del dielèctric és de $h = 1,61$ mm i té $\epsilon_r = 2,2$ i $\delta = 0,0009$.

Seguint el model de l'article, el dipol ha de ressonar a les freqüències de 5,5 - 6 GHz sobre el dielèctric i aquest té una llargada de $0,48 \cdot \lambda_d$. Per obtenir les mides exactes es calcula la longitud d'ona sobre el dielèctric (λ_d) de la següent manera:

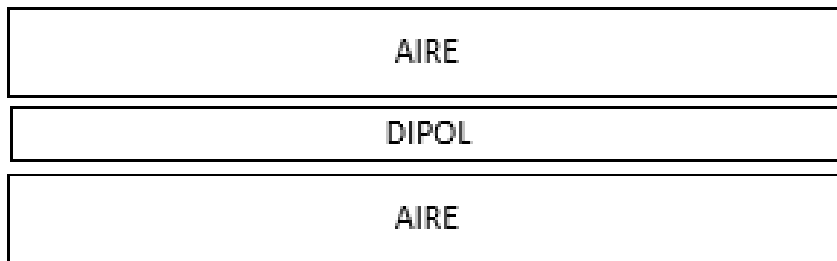
Si $f_0=5,5$ GHz:

$$\lambda_d = \frac{c}{f_0 \cdot \sqrt{\epsilon}} = \frac{3 \cdot 10^8 m/s}{5,5 GHz \cdot 10^8 \sqrt{2,2}} = 0,0368m \rightarrow 36,8mm$$

El dipol dissenyat a l'article té una llargada de $0,48 \cdot \lambda_d = 0,48 \cdot 36,8mm = 17,8$ mm.

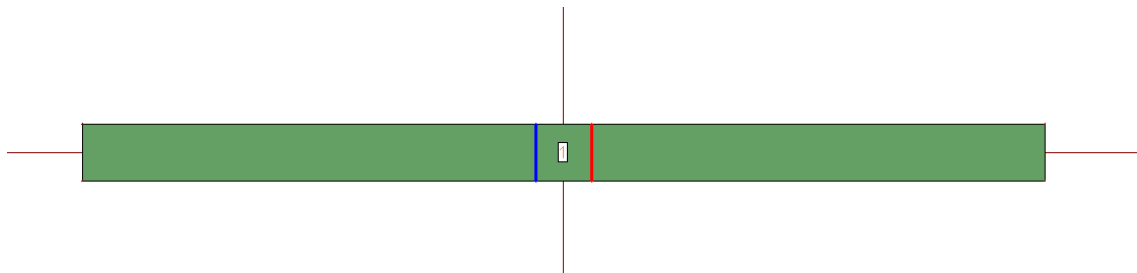
4.5.1 SIMULACIONS

4.5.1.1 ESCENARI 1: DIPOL LLIURE



Il·lustració 183: Escenari dipol serpentí lliure a 5,25 GHz.

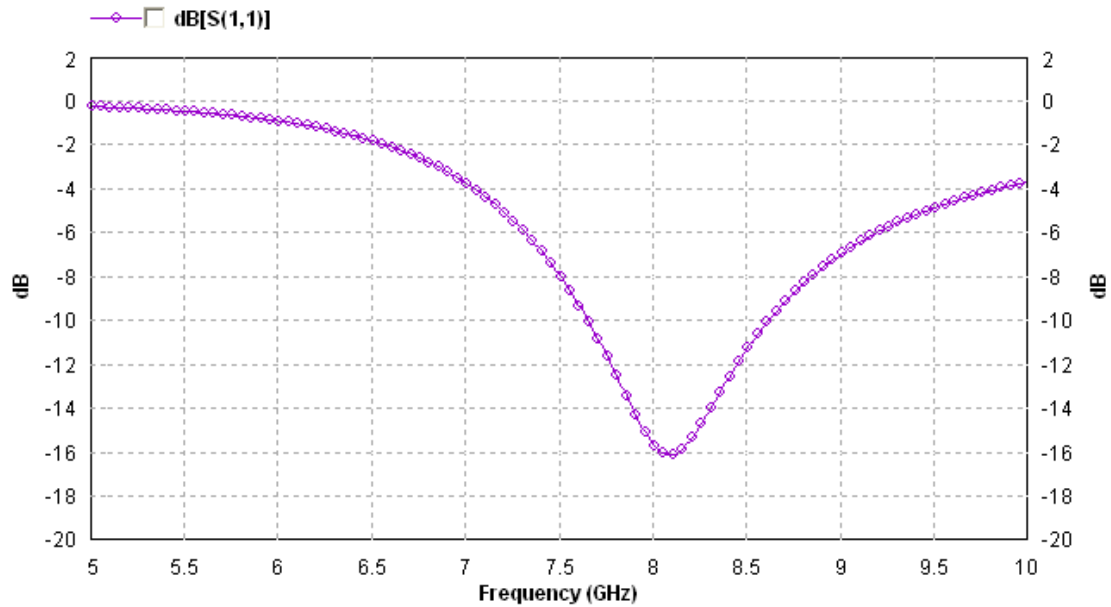
4.5.1.1.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 184: Dipol en IE3D - espai lliure 5,25GHz

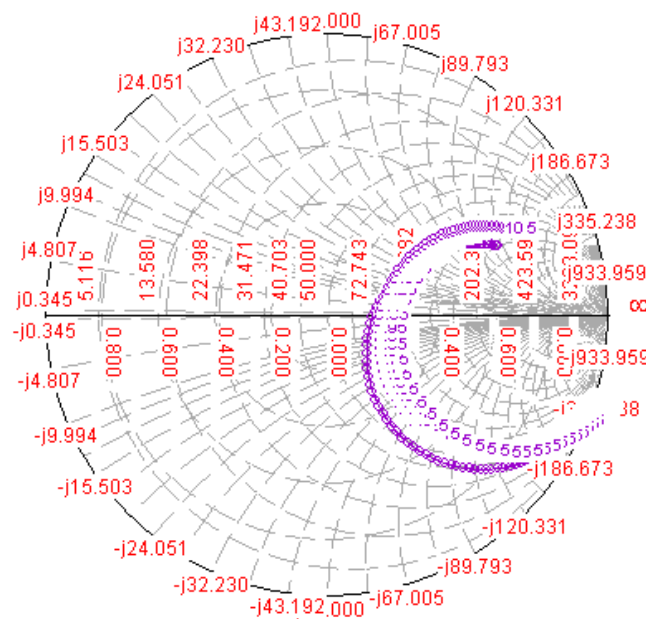
4.5.1.1.2 PÈRDUES DE RETORN

Com era d'esperar, al calcular-se la llargada pel dipol sobre el dielèctric, quan es col·loca en l'espai lliure aquest ressona a una freqüència molt més elevada, com és a 8 GHz. Les pèrdues de retorn són les que es mostren a la Il·lustració 185.



Il·lustració 185: S11 - Dipol en espai lliure 5,25 GHz - IE3D

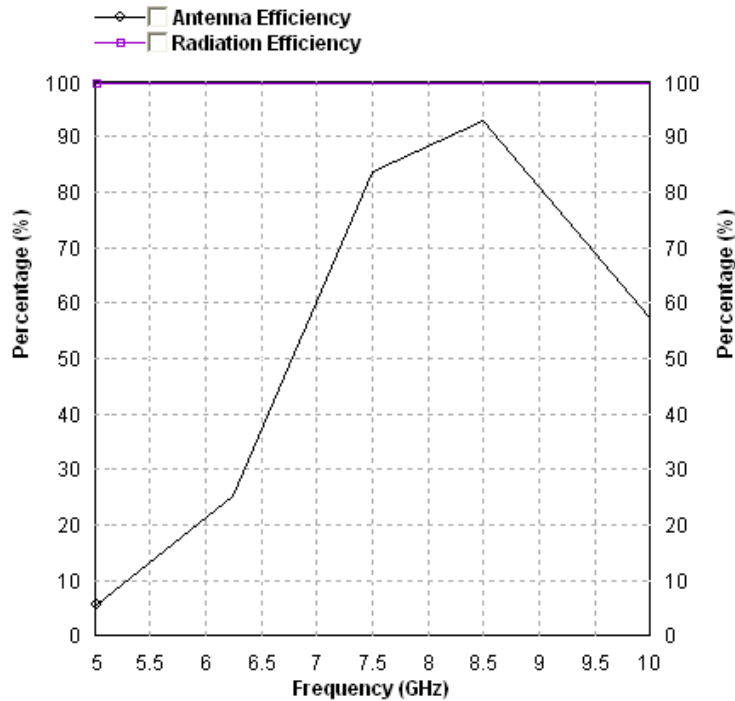
4.5.1.1.3 CARTA SMITH



Il·lustració 186: Carta Smith - Dipol 8 GHz en espai lliure - IE3D

4.5.1.1.4 EFICIÈNCIA

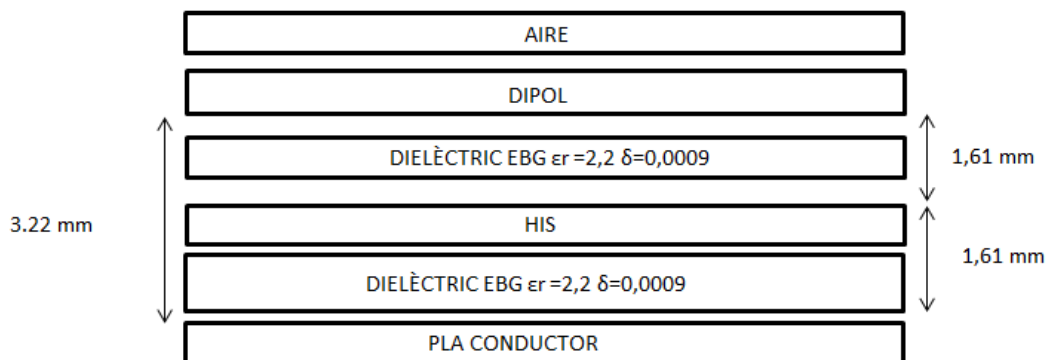
L'eficiència de radiació és del 100% en canvi l'eficiència d'antena és del 90% a la freqüència de 8,5GHz.



Il·lustració 187: Eficiència d'antena i de radiació del dipol a 5,25 GHz

4.5.1.2 ESCENARI 2: DIPOL A 3.22 mm DEL PLA DE MASSA AMB HIS D'OSSOS

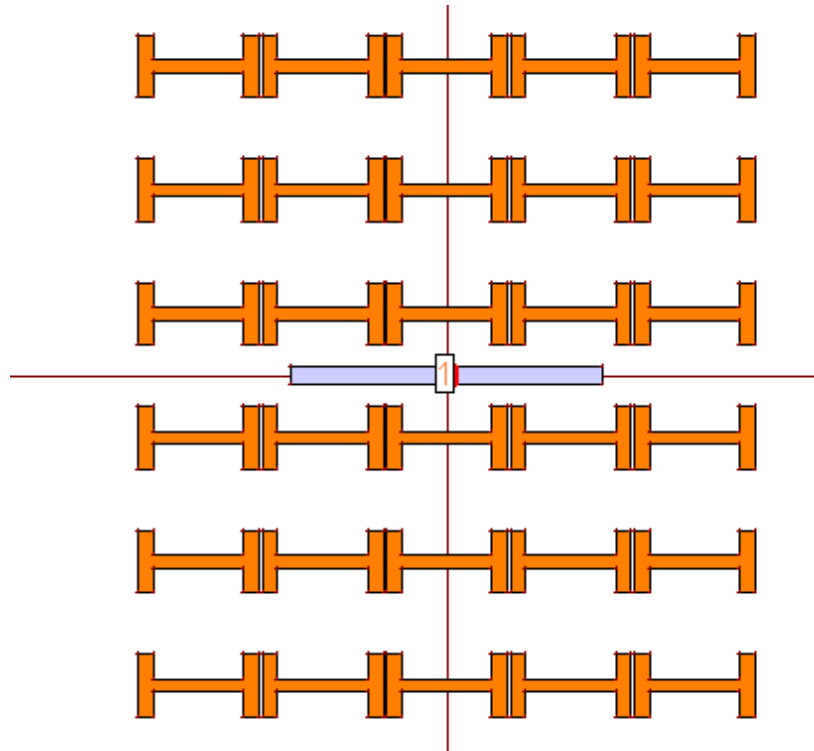
A continuació s'ha col·locat com a primera capa un conductor, seguit del dielèctric a 1,61 mm on s'hi col·loca l'estructura HIS. A sobre d'aquesta s'hi col·loca un altre pedaç de dielèctric amb el dipol imprès a sobre. Tota aquesta estructura es pot observar a la Il·lustració 188.



Il·lustració 188: Diagrama escenari: dipol a 3,22 mm Ground Plane + HIS d'ossos a 1,61 mm

4.5.1.2.1 ESTRUCTURA

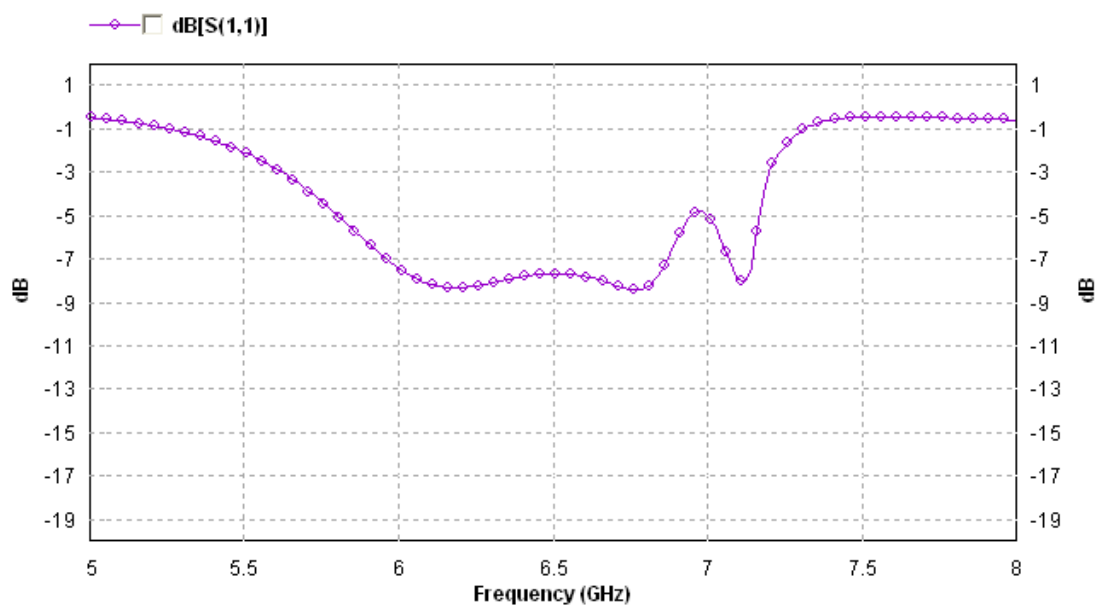
Estructura generada en IE3D segons les mides indicades a la Taula 9.



Il·lustració 189: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 3,22 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61mm del pla de massa.

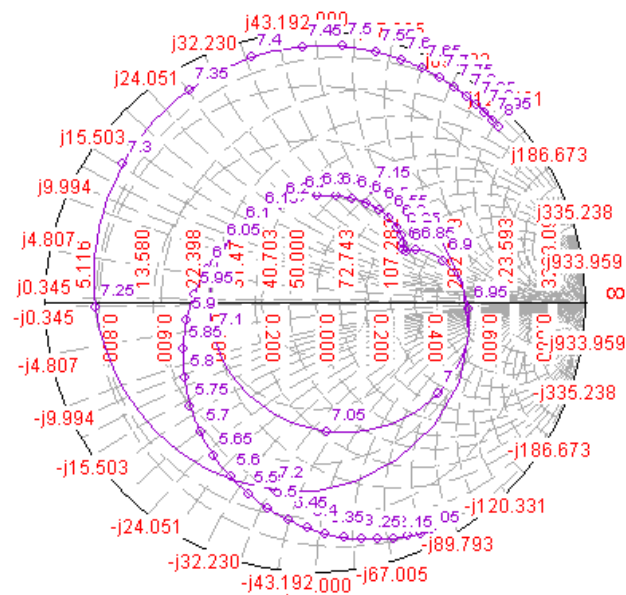
4.5.1.2.2 PÈRDUES DE RETORN

Les pèrdues de retorn en aquesta estructura es mostren a la Il·lustració 190, com es pot veure aquesta estructura té la freqüència de ressonància de 6 GHz a 7 GHz.



Il·lustració 190: S11 de dipol a 3,22 mm del pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa.

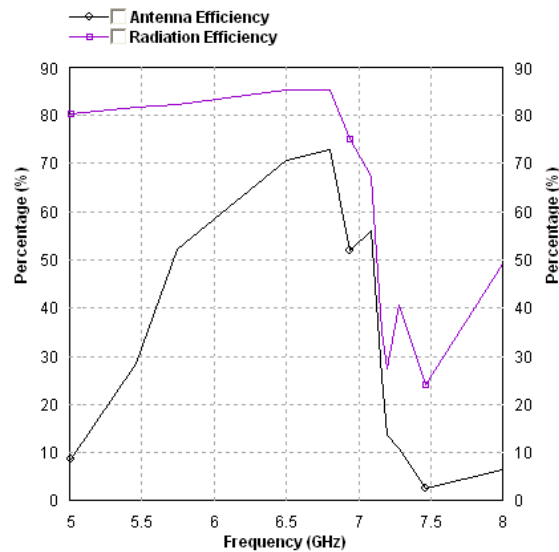
4.5.1.2.3 CARTA SMITH



Il·lustració 191: Carta de Smith de dipol a 3,22 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa.

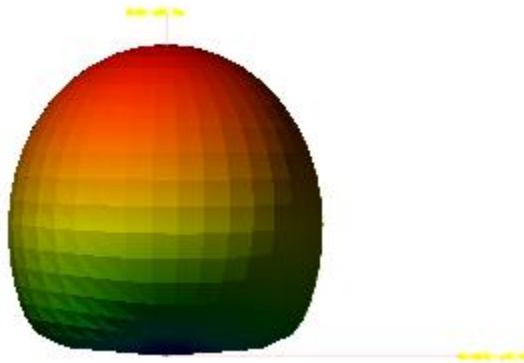
4.5.1.2.4 EFICIÈNCIA

A la Il·lustració 192 es mostra l'eficiència d'antena i de radiació d'aquesta estructura on es pot observar que l'eficiència de radiació a 7GHz aproximadament decau al 30% però l'eficiència d'antena al voltant de 6,8 GHz és del 70%.



Il·lustració 192: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 3,22 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm de pla de massa.

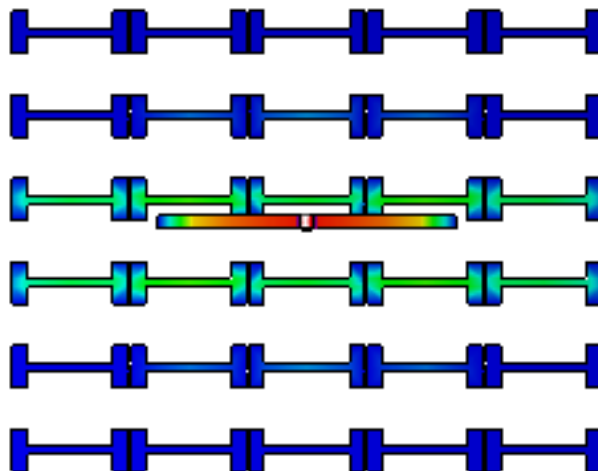
4.5.1.2.5 DIAGRAMA RADIACIÓ



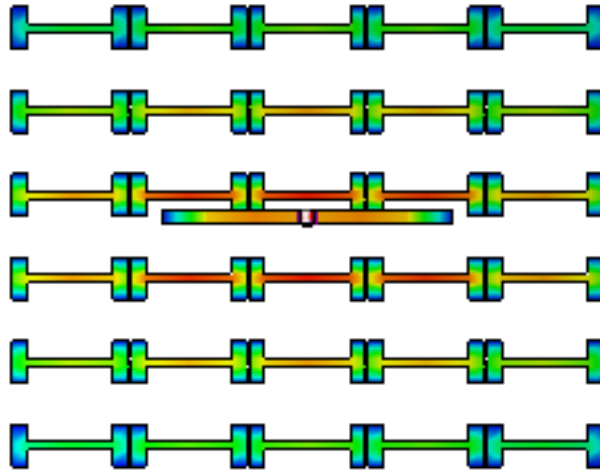
Il·lustració 193: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 3,22 mm de pla de massa més EBG a 1,61 mm del pla de massa.

4.5.1.2.6 CORRENT

El corrent de l'estructura a 5GHz es pot observar a la Il·lustració 194 els ossos no estan il·luminats en canvi a la Il·lustració 195 que correspon al corrent per la freqüència de 6,5 GHz l'estructura està quasi il·luminada completament.



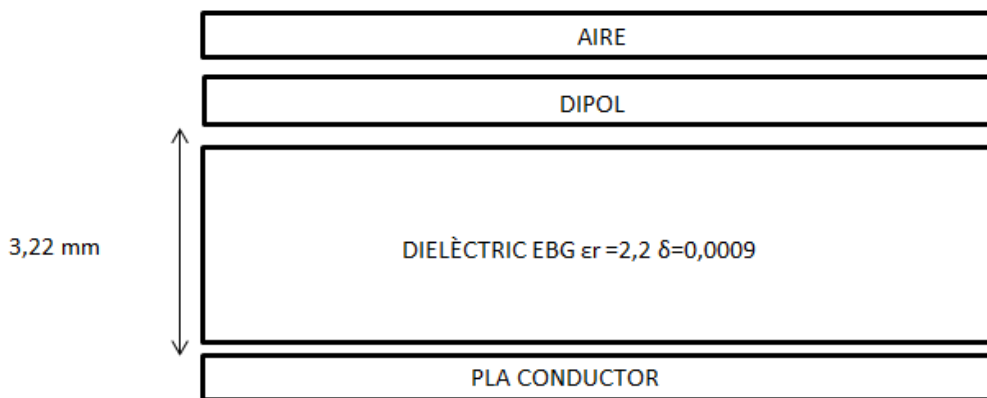
Il·lustració 194: Corrent a 6GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 3,22 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa.



Il·lustració 195: Corrent a 8 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 3,22 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa.

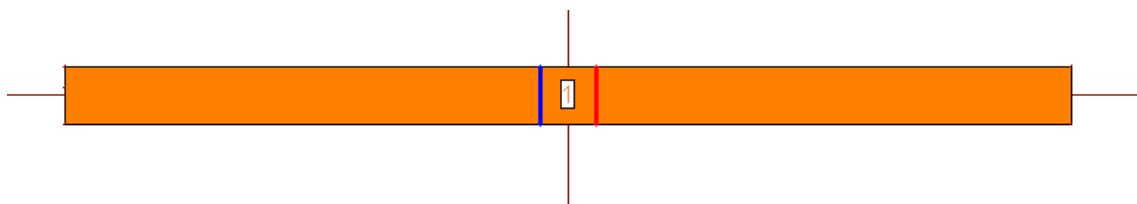
4.5.1.3 ESCENARI 3 DIPOL A 3.22 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG

En aquest cas, com s'ha fet en tots els estudis es procedeix a situar el dipol sobre el pla de massa sense el EBG sobre el bloc de dielèctric de gruix 3,22 mm com es mostra en la Il·lustració 197.



Il·lustració 196: Diagrama escenari: dipol a 3,22 mm Ground Plane

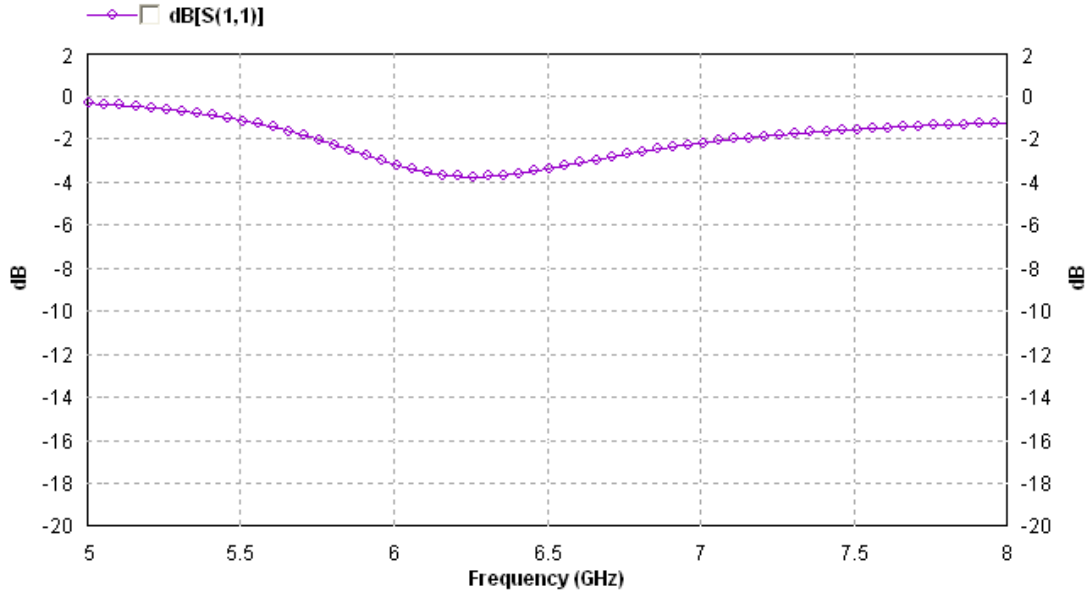
4.5.1.3.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 197: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 3,22 mm de pla de massa

4.5.1.3.2 PÈRDUES DE RETORN

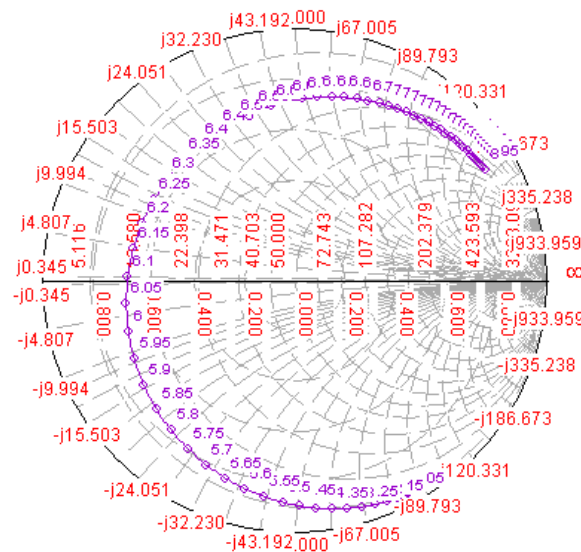
Com es pot observar les pèrdues de retorn per aquesta estructura es són molt pobres a la freqüència de ressonància del dipol.



Il·lustració 198: S_{11} de dipol a 3,22 mm del pla de massa

4.5.1.3.3 CARTA SMITH

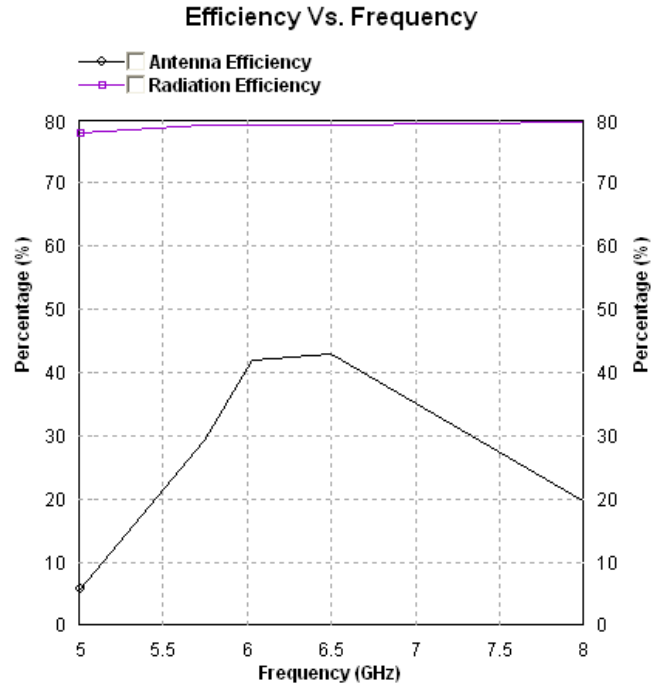
La carta de Smith Il·lustració 189, permet veure que l'estructura no està ben adaptada.



Il·lustració 199: Carta de Smith de dipol a 3,22 mm de pla de massa

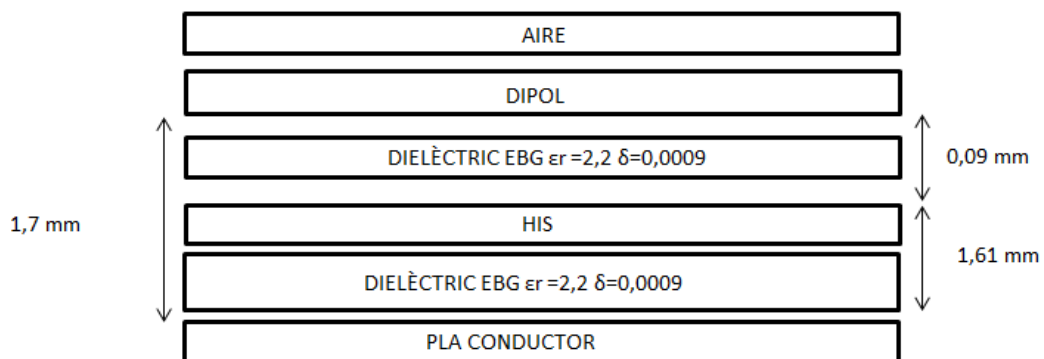
4.5.1.3.4 EFICIÈNCIA

L'eficiència de radiació és del 100% per totes les freqüències en canvi l'eficiència d'antena per les freqüències de 6 i 6,5 GHz per aquesta estructura és de 45%.



Il·lustració 200: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 3,22 mm de pla de massa

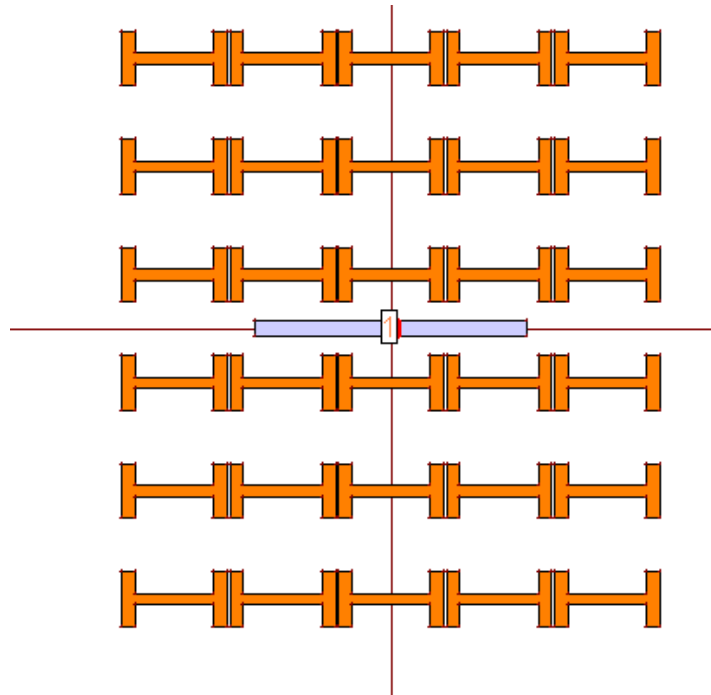
4.5.1.4 ESCENARI 4 DIPOL A 1.7 mm DEL PLA DE MASSA AMB EBG



Il·lustració 201: Diagrama escenari: dipol a 1,7 mm Ground Plane + HIS d'ossos a 1,61 mm

Seguint amb la dinàmica que s'ha utilitzat durant la creació d'aquest treball, seguidament s'ha apropiat el dipol fins col·locar-lo a 1,7 mm.

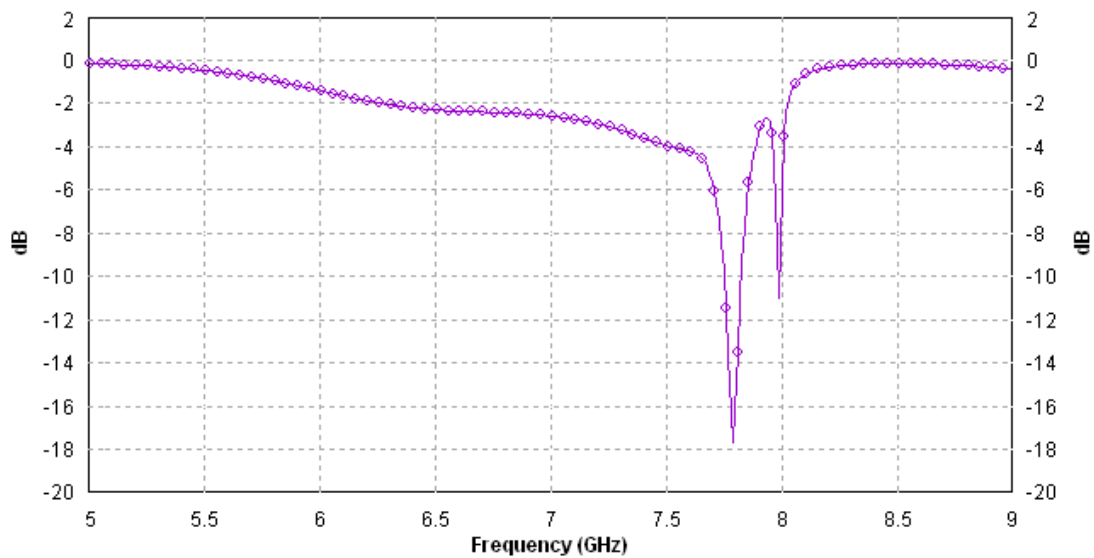
4.5.1.4.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 202: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 1,7 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61mm del pla de massa.

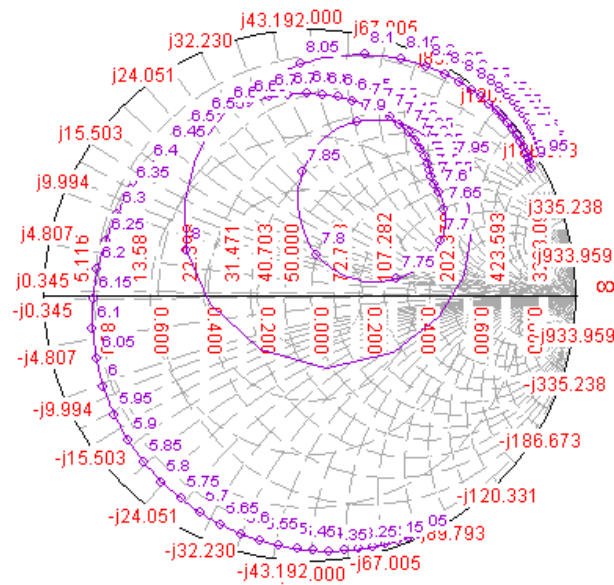
4.5.1.4.2 PÈRDUES DE RETORN

Les pèrdues de retorn un cop s'ha col·locat el dipol a 1,7 mm del pla de massa, són les que es mostren a la Il·lustració 203 on s'observa que la freqüència de ressonància correspon sobre els 7,8 GHz.



Il·lustració 203: S11 de dipol a 1,7 mm del pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa

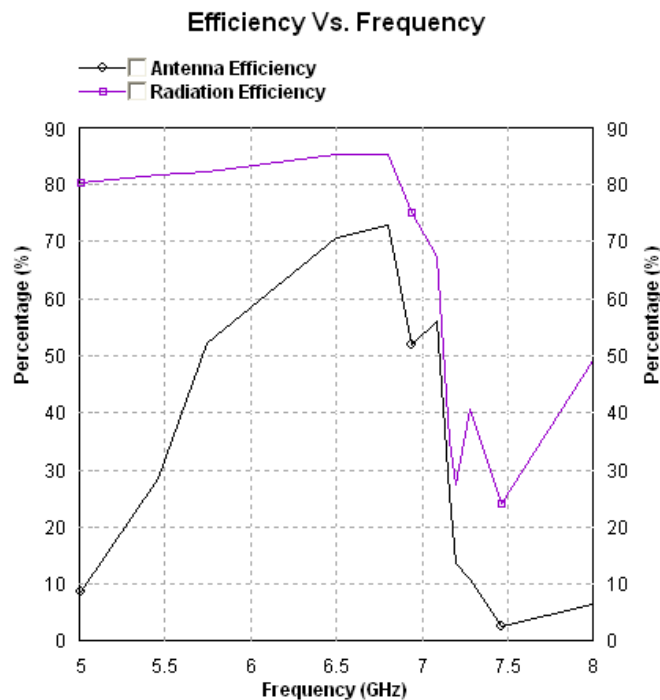
4.5.1.4.3 CARTA SMITH



Il·lustració 204: Carta de Smith de dipol a 1,7 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa.

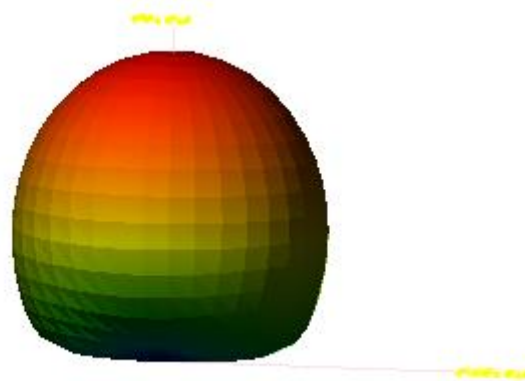
4.5.1.4.4 EFICIÈNCIA

L'eficiència de radiació es manté entre el 80% i el 90% fins la freqüència de 7,25GHz on cau limitant l'eficiència d'antena. Respecte l'eficiència d'antena aquesta estructura té el màxim del 70% a 6,8GHz com es mostra a Il·lustració 205



Il·lustració 205: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 1,7 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm de pla de massa.

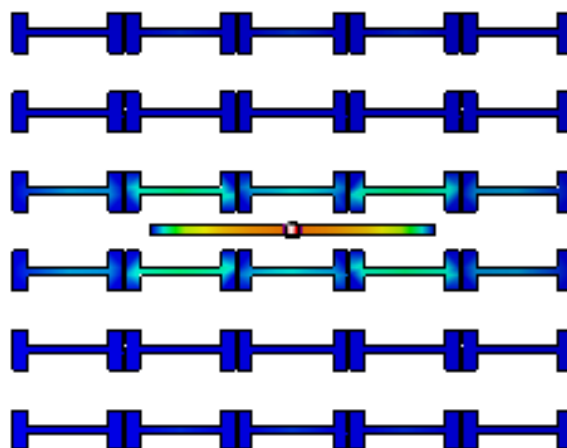
4.5.1.4.5 DIAGRAMA RADIACIÓ



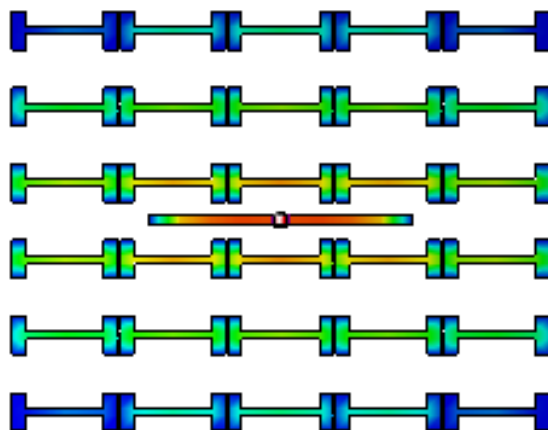
Il·lustració 206: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 1,7 mm de pla de massa més EBG a 1,61 mm del pla de massa.

4.5.1.4.6 CORRENT

El corrent a 5 GHz es mostra a la Il·lustració 207 on s'observa que els ossos no estan il·luminats i tenen un corrent flux. A la freqüència de 8 GHz es veu notablement com el corrent pels ossos és molt més intens.

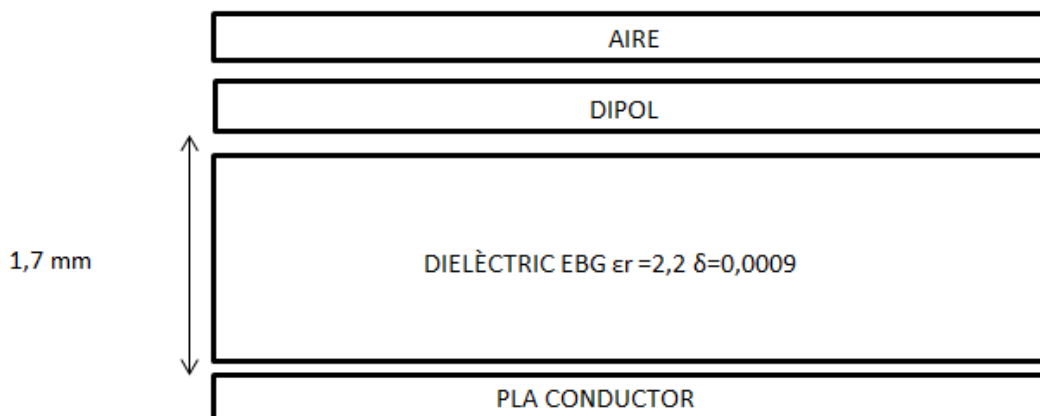


Il·lustració 207: Corrent a 5GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 1,7 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa



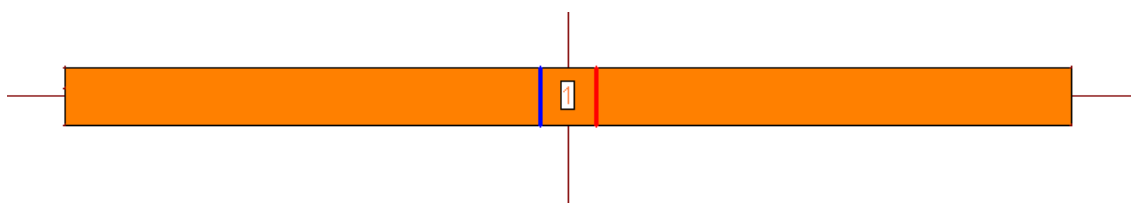
Il·lustració 208: Corrent a 7 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 1,7 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa.

4.5.1.5 ESCENARI 5 DIPOL A 1.7 mm DEL PLA DE MASSA SENSE EBG



Il·lustració 209: Diagrama escenari: dipol a 1,7 mm Ground Plane

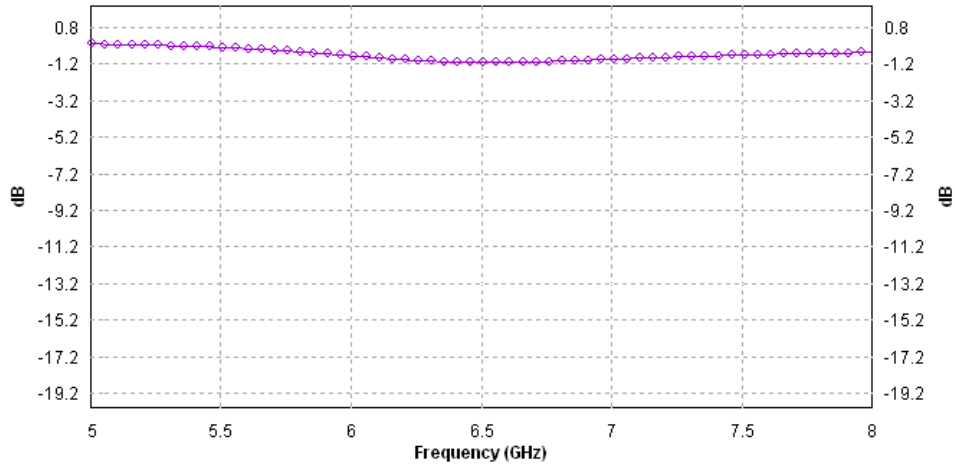
4.5.1.5.1 ESTRUCTURA



Il·lustració 210: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 1,7 mm de pla de massa

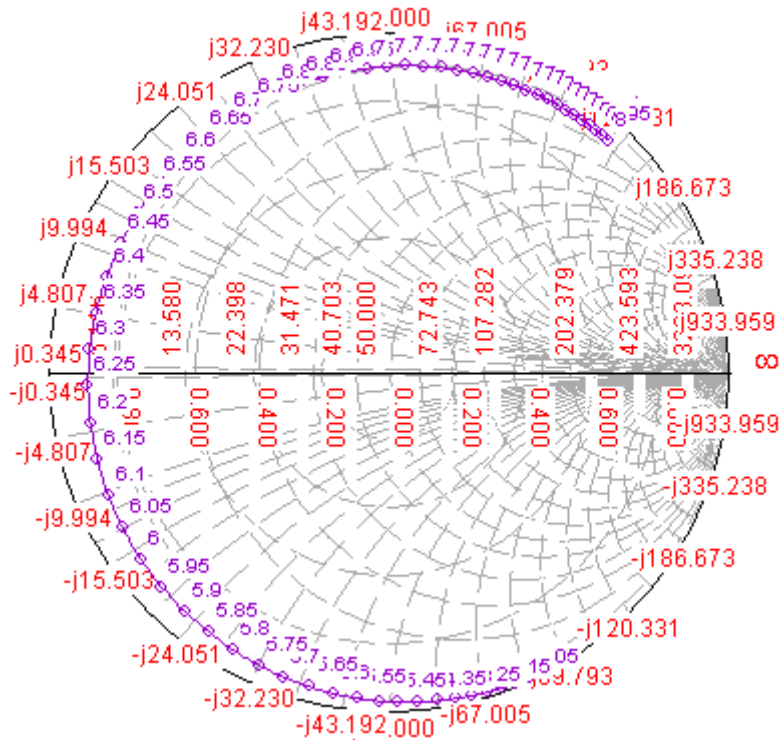
4.5.1.5.2 PÈRDUES DE RETORN

Les pèrdues de retorn pel dipol a 1,7mm del pla de massa sense EBG, permet observar com l'antena no ressona a cap freqüència d'interès.



Il·lustració 211: S11 de dipol a 1,7 mm del pla de massa

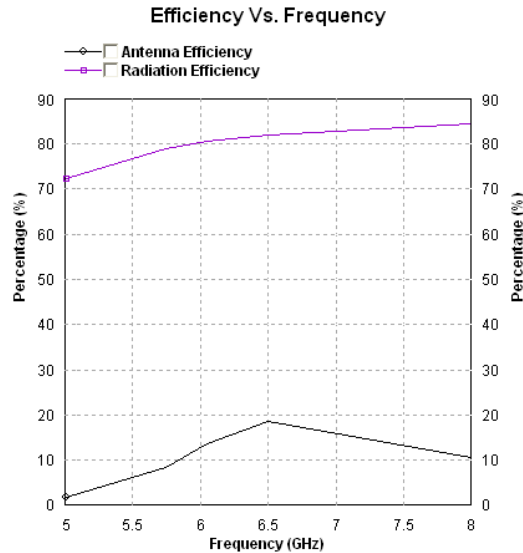
4.5.1.5.3 CARTA SMITH



Il·lustració 212: Carta de Smith de dipol a 1,7 mm de pla de massa

4.5.1.5.4 EFICIÈNCIA

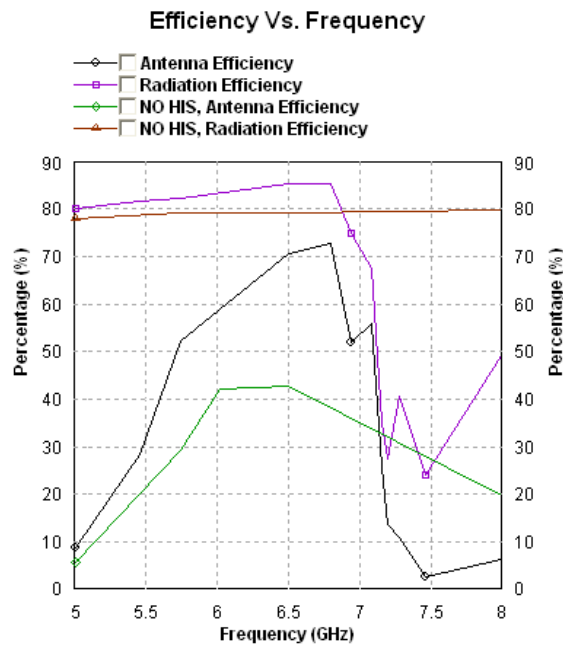
L'eficiència de radiació es manté per sobre del 70% per totes les freqüències però l'eficiència d'antena és molt pobre i el màxim es troba a 6,5 GHz i 20%.



Il·lustració 213: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 1,7 mm de pla de massa

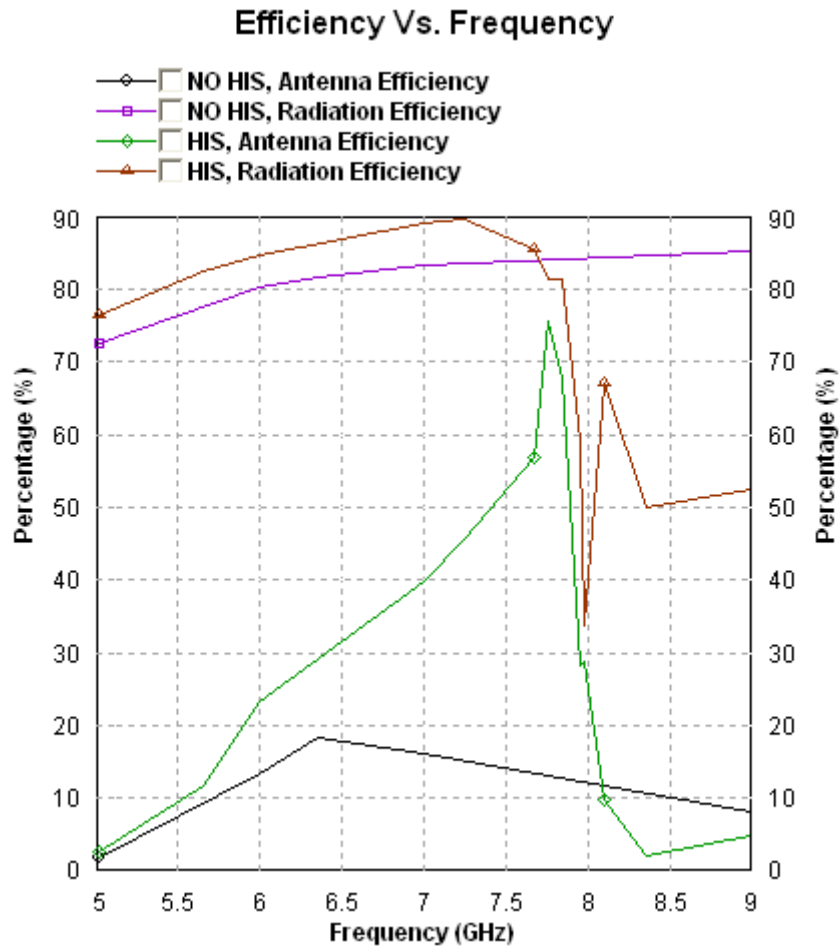
4.5.2 CONCLUSIONS

Primerament a la Il·lustració 214 es mostra la comparació entre l'estructura amb gruix de 3,22 mm amb i sense HIS, si s'analitza a la freqüència d'interès l'estructura amb HIS té una millor l'eficiència de radiació i d'antena.



Il·lustració 214: comparativa d'eficiència entre dipol 3.22 mm del pla de massa amb HIS BONES a 1,61mm i NO HIS.

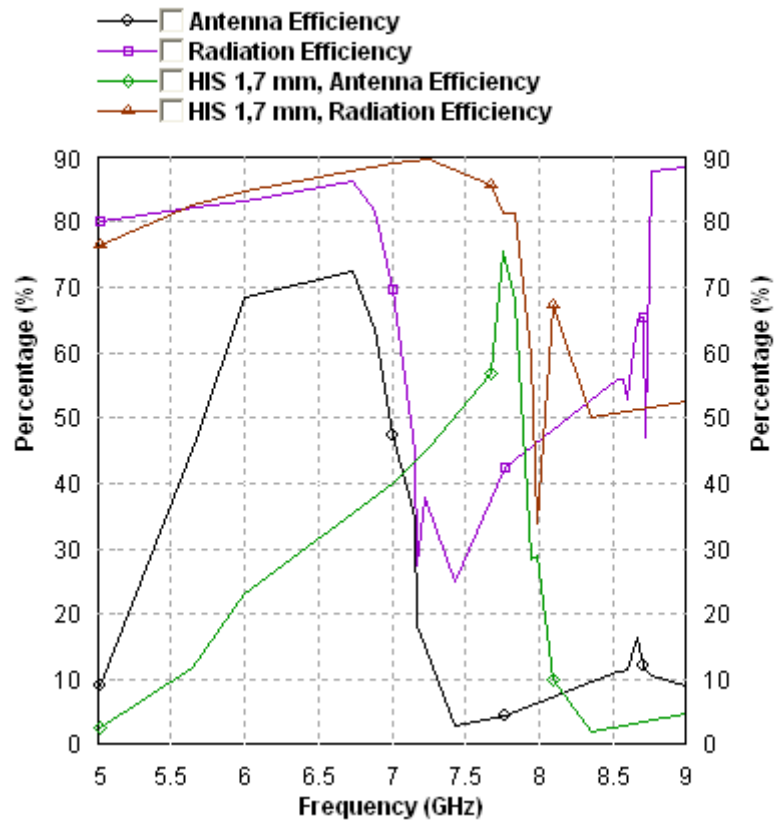
A la Il·lustració 215 es realitza la mateixa comparació que en l'anterior però aquest com amb el dipol a 1,7 mm del pla de massa, on s'observa que la freqüència de ressonància de l'estructura s'ha desplaçat considerablement, tot i així a la freqüència per la que s'ha dissenyat el dipol l'eficiència d'antena per l'estructura HIS és millor però no es veu un clar avantatge. L'eficiència de radiació sí és millor amb HIS que sense però tampoc hi ha una diferència abismal.



Il·lustració 215: comparativa d'eficiència entre dipol 1,7 mm del pla de massa amb HIS BONES a 1,61mm i NO HIS.

A la Il·lustració 216 es mostra la diferència entre les estructures amb HIS pel dipol situat a 3,22 mm i 1,7 mm, el que es pot comentar a primera vista dels resultats obtinguts és que s'ha desplaçat tota la gràfica a una altra freqüència de ressonància quasi 1,5 GHz respecte la del dipol dissenyat.

Efficiency Vs. Frequency



Il·lustració 216: comparativa d'eficiència entre dipol a 3,22 amb HIS BONES i a 1,7 del pla de massa amb HIS BONES.

5. CONCLUSIONS FINALS

En aquest treball de final de màster s'ha realitzat un estudi i anàlisi de varies estructures EBG per tal de veure i comprovar el seu funcionament i utilitat tal i com s'indica als articles.

En primer lloc s'ha realitzat una cerca d'articles per posar en context la temàtica sobre la qual es vol treballar. En aquest cas es tracta d'estructures EBG/HIS i més concretament en aquelles estructures que es situen prop d'un pla conductor o pla de massa, aquest fet es detalla ja que hi ha estructures EBG/HIS que s'utilitzen per evitar l'acoblament entre antenes que són molt properes com també s'ha detallat en algun article.

El funcionament de les estructures EBG/HIS es detalla a continuació en mode resum. Les ones generades per l'antena viatgen fins arribar a l'estructura EBG, aquesta estructura EBG/HIS formada per un array periòdic de pedaços amb unes certes formes o perforats amb vies, han d'estar dimensionats per treballar a la freqüència de ressonància de l'antena.

Quan les ones arriben a l'estructura, aquestes es reflexen i a la freqüència on la fase de l'ona reflexada és 0° l'estructura es comporta com un AMC/HIS aportant tots els seus avantatges com són millor guany, més directivitat, reducció de la radiació posterior, millor eficiència. El que aporta el HIS és un baix perfil ja que no es requereix que l'antena estigui a un quart de la longitud d'ona i la miniaturització d'antenes.

Un cop explicat el funcionament bàsic d'una estructura HIS, s'ha agafat un conjunt d'articles per reproduir les estructures i analitzar en detall el que es comenta a l'article a més d'analitzar altres paràmetres que no són contemplats en aquests com és el cas de l'eficiència de radiació i d'antena.

Com a conclusió del treball, es pot dir que en totes les estructures analitzades mitjançant la seva reproducció i simulació en IE3D, les estructures que disposen d'EBG ofereixen millors resultats. Aquest fet no significa que en tots els casos sigui necessària o porti una gran millora, ja que en alguns d'aquests casos s'observa com l'eficiència de radiació d'una estructura sense EBG és millor que amb EBG, però l'eficiència d'antena no ho és. Per aquests escenaris s'hauria d'estudiar en detall si els costos d'implementació del HIS compensen que es posi una xarxa d'adaptació a l'antena i es pugui augmentar l'eficiència d'antena de l'estructura sense EBG fins a superar la que ofereix l'EBG.

Un altre comportament a comentar és que davant el disseny d'aquestes estructures s'han d'analitzar molt tots els seus paràmetres ja que en algun cas s'ha observat com les pèrdues de retorn eren molt bones a la freqüència d'interès i a

l'hora d'analitzar l'eficiència d'antena s'ha observat com aquesta no és gens favorable, a més també s'observa un desplaçament de la freqüència de ressonància de l'antena i un canvi en l'amplada de banda .

Així doncs davant el disseny d'una estructura HIS/EBG són molts els paràmetres a tenir en compte ja que qualsevol modificació varia la impedància de l'estructura i això provoca canvis significatius en els resultats. Els paràmetres més significatius que s'han observat segons els estudis realitzats són, la distància entre dipol, EBG i pla de massa, formes i dimensions dels pedaços, pèrdues del dielèctric, tipus d'antena.

6. REFERÈNCIES:

[1] Y. Liu "A RFID TAG METAL ANTENNA ON A COMPACT HIS SUBSTRATE" Progress In Electromagnetics Research Letters, Vol. 18, 51-59, 2010)

[2] Dan Sievenpiper, , Lijun Zhang, Romulo F. Jimenez Broas, Nicholas G. Alexopolous, and Eli Yablonovitch, "High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band", IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, VOL. 47, NO. 11, NOVEMBER 1999

[3] Mikal Askarian Amiri, Student , Constantine A. Balanis and Craig R. Birtcher, "Gain and Bandwidth Enhancement of Spiral Antenna Using Circularly Symmetric HIS.

[4] Saud M. Saeed and Constantine A. Balanis, Ahmet C. Durgun "Reflection Phase and Surface Wave Propagation Characteristics of a Symmetrical Perforated High Impedance Surface".

[5] Mikal Askarian Amiri, Constantine A. Balanis and Craig R. Birtcher, "Design, Simulation and Antenna Applications of Spherical High Impedance Surfaces", School of Electrical, Computer and Energy Engineering Arizona State University Tempe, Arizona 85287-5706 USA.

[6] Yen-Sheng Chen, , and Ting-Yu Ku, Student , "A Low-Profile Wearable Antenna Using a Miniature High Impedance Surface for Smartwatch Applications" IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 15, 2016.

[7] Xing-Chang WEI, Yu-Fei SHU, Jian-Bo ZHANG " Applications of High Impedance Surfaces for Surface Wave Elimination" , 2016 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference August 21-25, 2016 / Seoul, Korea

[8] C. M. Tran, H. Hafdallah Ouslimani, L. Zhou and A. C. Priou, H. Teillet and J.-Y. Daden, A. Ourir, "HIGH IMPEDANCE SURFACES BASED ANTENNAS FOR HIGH DATA RATE COMMUNICATIONS AT 40 GHz", Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 13, 217-229, 2010.

[9] A Thin, Low-Profile Antenna Using a Novel High Impedance Ground Plane, <https://www.feko.info/applications/white-papers/a-thin-low-profile-antenna-using-a-novel-high-impedance-ground-plane/a-thin-low-profile-antenna-using-a-novel-high-impedance-ground-plane/view>".

[10] Haider R. Khaleel, Hussain M. Al-Rizzo, Ayman Issac and Said Abushamleh, "HIGH IMPEDANCE SURFACES FOR FLEXIBLE AND CONFORMAL WIRELESS SYSTEMS" American Journal of Engineering and Applied Sciences 7 (2): 266-270, 2014.

[11] Julien Sarrazin, Anne-Claire Lepage, Xavier Begaud, "High-Impedance Surface Design Considerations", Institut Telecom, Telecom ParisTech LTCI Research Institute (UMR CNRS 5141), Paris, France

[12] Mikal Askarian Amiri, Student , Constantine A. Balanis, and Craig R. Birtcher, "Analysis, Design, and Measurements of Circularly Symmetric High-Impedance Surfaces for Loop Antenna Applications", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 64, NO. 2, FEBRUARY 2016.

[13] Jingxian Yang, Juan Chen, Anxue Zhang, Lanxin Li and Ying Yang, "A low-RCS Microstrip Antenna Using EBG and HIS structure" 978-1-5090-4743-7/16 ©2016 IEEE.

[14] Steven R. Best and Drayton L. Hanna, "Design of a Broadband Dipole in Close Proximity to an EBG Ground Plane, "IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 50, No.6, December 2008.

[15] Takayoshi Konishi, Toru Miura, Yukihiro Numata, Shoichi Sato, Atsushi Sanada and Hiroshi Kubo, " An Impedance Matching Technique of a UHF-Band RFID Tag on a High-Impedance Surface with Parasite Elements" Reserch & Development Unit, NEC TOKIN Corporation 6-7-1 Koriyama, Taihaku-Ku, Sendai, Miyagi 982-8510, Japan 2Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University 2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi 755-8611, Japan.

[16] Andrea Vallecchi, Javier R. De Luis, , Filippo Capolino, Senior , and Franco De Flaviis, "Low Profile Fully Planar Folded Dipole Antenna on a High Impedance Surface", IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 60, NO. 1, JANUARY 2012.

[17] Aurora Andújar Linares, Jaume Anguera Pros "L'antena en un sistema de telecomunicació", any 2013.

[18] 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.

[19] A. Andújar, J. Anguera, and C. Puente, "Ground plane boosters as a compact antenna technology for wireless handheld devices," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.59, no.5, pp.1668–1677, May, 2011.

[20] A. Andújar and J. Anguera, "On the Radiofrequency System of Ground Plane Booster Antenna Technology", Electronics Letters, vol.48, no.14, pp. 815-817, July 2012.

[21] J. Anguera, C. Picher, A. Bujalance, and A. Andújar, "Ground Plane Booster Antenna Technology for Smartphones and Tablets", Microwave and Optical Technology Letters, vol.58, no. 6, pp.1289-1294, June 2016.

[22] J. Anguera, J.P. Daniel, C. Borja, J. Mumbrú, C. Puente, T. Leduc, K. Sayegrih, and P. Van Roy, "Metallized Foams for Antenna Design: Application to Fractal-Shaped Sierpinski-Carpet Monopole", Progress In Electromagnetics Research, PIER 104, 239-251, 2010.

[23] C. Puente, J. Anguera, C. Borja, and J. Soler" Fractal-Shaped Antennas and their Application to GSM 900/1800" The Journal of the Institution of British Telecommunications Engineers. vol.2, Part 3, July-Set. 2001

[24] J. M. J. W. Jayasinghe, Jaume 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

[25] D. Aguilar, J. Anguera, M. Ribó, and C. Puente, "Small handset antenna for FM reception", Microwave and Optical Technology Letters, vol.50, nº10, pp.2677-2683, October 2008.

- [26] J. Anguera, C. Puente, and C. Borja, "Dual Frequency Broadband Microstrip Antenna With a Reactive Loading and Stacked Elements", *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 10, 1-10, 2009
- [27] S. Risco, J. Anguera, A. Andújar, A. Pérez, and C. Puente, "Coupled Monopole Antenna Design for Multiband Handset Devices", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.52, nº10, pp.359-364, Feb. 2010.
- [28] 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.
- [29] Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja and Jordi Soler, "Fractal-Shaped Antennas: a Review". *Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering*, edited by K. Chang, vol.2, pp.1620-1635, 2005
- [30] Jaume Anguera, Jean-Pierre Daniel, Carmen Borja, Josep Mumbrú, Carles Puente, TiphaineLeduc, Nancy Laeveren, and Peter Van Roy, "Metallized Foams for Fractal-Shaped MicrostripAntennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol.50, nº6, Dec. 2008, pp.20-38.
- [31] C. Puente, E. Rozan, J. Anguera "Space-filling miniature antennas" US Patent 7,202,822
- [32] Jaume Anguera, Carles Puente, Enrique Martínez, and Edouard Rozan, "The fractal Hilbert monopole: A two-dimensional wire". *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.36, nº2, pp.102-104, Jan. 2003.
- [33] David Gala, Jordi Soler, Carles Puente, Carmen Borja, and Jaume Anguera, "Miniature Microstrip Patch Antenna Loaded With a Space-Filling Line Based on the Fractal Hilbert Curve". *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.38, nº4, pp.311-312, Aug. 2003.
- [34] Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, Raquel Montero, and Jordi Soler, "Small and High Directivity Bowtie Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol.31, nº3, pp.239-241, Nov 2001.
- [35] Jaume Anguera, Carles Puente, Carmen Borja, and Jordi Romeu, "Miniature WideBand Stacked Microstrip Patch Antenna based on the Sierpinski Fractal Geometry". *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, vol.3, pp.1700-1703, Salt Lake City, USA July 2000.

7. ÍNDEX DE FIGURES.

Il·lustració 1: Recorregut de les ones superficials en dielèctrics.	16
Il·lustració 2: Article 1: Estructura HIS entre dos dielèctrics	18
Il·lustració 3: Article 1: dipol Serpentí.....	19
Il·lustració 4: Article 1: Estructura HIS	20
Il·lustració 5: Article 1: estructura equivalent a circuit LC.....	21
Il·lustració 6: Article 1: Fase reflexada segons amplada de ranura.....	21
Il·lustració 7: Article 1: pèrdues de retorn, sense pla de massa, amb pla de massa petit i pla de massa infinit.	22
Il·lustració 8: Article 2: Estructura mushroom HIS	23
Il·lustració 9: Article 2: Interfícies dielèctriques	24
Il·lustració 10: Article 2: Protuberàncies.	25
Il·lustració 11: Article 2: Superfície corrugada.	26
Il·lustració 12: Article 3: Efecte LC en superfícies mushroom.....	27
Il·lustració 13: Article 3: HIS circular Il·lustració 14: Article 3: HIS rectangular.	28
Il·lustració 15: Article 3: Fase reflexada en HIS circular	28
Il·lustració 16: Article 3: Antena Circular.....	29
Il·lustració 17: Article 3: Comparativa S11 entre HIS circular, rectangular.	29
Il·lustració 18: Article 3: Comparativa dels diagrames de radiació entre HIS circular i rectangular.....	30
Il·lustració 19: Article 3: Comparativa del guany entre HIS circular i rectangular.	30
Il·lustració 20: Article 4: Estructura PHIS.....	30
Il·lustració 21: Article 5: Estructura HIS esfèrica i circular	31
Il·lustració 23: Article 5: Fase reflexada per cada anell.	32
Il·lustració 22: Article 5: Pèrdues de retorn segons radis de l'antena.	32
Il·lustració 24: Article 5: Comparativa de diagrama de radiació entre HIS esfèric, HIS circular, PMC esfèric.	32
Il·lustració 25: Article 6: estructura HIS + ILA per smartwatch.....	33
Il·lustració 26: Article 6: Eficiència mesurada sobre ILA (ESQUERRA) i Eficiència d'antena en diferents localitzacions (DRETA)	34
Il·lustració 27: Article 7: Efectes mushroom i circuit equivalent.	35
Il·lustració 28: Article 7: HIS amb mushroom de dos nivells.	35
Il·lustració 29: Article 7: Antena Referència	36
Il·lustració 30: Article 7: Antena pedaç amb tres anells de cel·les.....	36
Il·lustració 31: Article 7: Antena pedaç amb cinc anells de cel·les.....	36
Il·lustració 32: Article 7: Diagrama de radiació de tres antenes amb HIS.	36
Il·lustració 33: Article 7: HIS tipus cavitat.....	37
Il·lustració 34: Article 8: HIS mushroom	38
Il·lustració 35: Article 8: Estructura HIS mushroom des de dalt i de perfil.	38
Il·lustració 36: Article 8: S11 mesurat i simulat.	39
Il·lustració 37: Article 8: HIS fabricat amb dos i tres anells.	39

Il·lustració 38: Article 8: S11: Simulat (esquerra) i Mesurat (dreta) per dos i tres anells.....	40
Il·lustració 39: Article 9: Estructura HIS amb pedaços fractals.....	40
Il·lustració 40: Article 9: dimensionament perímetre HIS.	40
Il·lustració 41: Article 9: Comparativa S11 (dalt) i guany (baix) entre monopòl fil i monopòl imprès.....	41
Il·lustració 42: Article 10: Estructura HIS i circuit equivalent.	42
Il·lustració 43: Article 11: Dimensions de la unitat de cel·la i pedaç.....	43
Il·lustració 44: Article 11: Impedància real (dalt) i Impedància imaginària (baix) per segons l'amplada del pedaç.....	44
Il·lustració 45: Article 11: Estructura HIS de 15x 15 amb dipòl.	45
Il·lustració 46: Article 11: Pèrdues de retorn per varies amplades de pedaç.....	45
Il·lustració 47: Estructura EBG de pedaços amb vies.....	48
Il·lustració 48: S11 - Per EBG amb protuberàncies mushroom a 300MHz.	49
Il·lustració 49: Escenari dipòl lliure a 300MHz.	49
Il·lustració 50: Dipòl en IE3D - espai lliure 300MHz.....	50
Il·lustració 51: S11 - Dipòl en espai lliure - IE3D – 300MHz.....	50
Il·lustració 52: Carta Smith - Dipòl 300MHz en espai lliure - IE3D.....	51
Il·lustració 53: Eficiència d'antena i de radiació del dipòl a 300MHz.	51
Il·lustració 54: Diagrama escenari: dipòl a 60mm Ground Plane + EBG a 40 mm. 52	
Il·lustració 55: Vista des de dalt en IE3D de dipòl a 60 mm de pla de massa més EBG a 40mm del pla de massa.....	52
Il·lustració 56: Vista en 3D des de sota de l'EBG amb IE3D.....	53
Il·lustració 57: Vista 3D del lateral de EBG + dipòl.	53
Il·lustració 58: S11 de dipòl a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.	53
Il·lustració 59: Carta de Smith de dipòl a 60mm de pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.	54
Il·lustració 60: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipòl a 60mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	55
Il·lustració 61: Diagrama de radiació amb IE3D de dipòl a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.....	55
Il·lustració 62: Corrent a 200MHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipòl a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	56
Il·lustració 63: Corrent a 310MHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipòl a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	56
Il·lustració 64: Corrent a 325MHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipòl a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	57
Il·lustració 65: Diagrama de Dipòl a 60 mm del pla de massa sense EBG.....	57
Il·lustració 66: vista des de dalt Dipòl a 60 mm del pla de massa sense EBG generat en IE3D.....	57
Il·lustració 67: S11 simulat amb IE3D de dipòl a 60 mm de pla conductor sense EBG.	58

Il·lustració 68: Carta de Smith simulada amb IE3D del dipol a 60 mm del pla de massa sense EBG.....	59
Il·lustració 69: Eficiència de radiació i d'antena simulades amb IE3D per un dipol a 60mm del pla de massa sense EBG.	59
Il·lustració 70: Diagrama de dipol a 42 mm de pla de massa amb EBG a 40 mm de pla de massa.....	60
Il·lustració 71: Estructura en IE3D de dipol a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa	60
Il·lustració 72: S11 simulat en IE3D de dipol a 42 mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.	61
Il·lustració 73: Carta Smith simulada amb IE3D per dipol a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	61
Il·lustració 74: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un dipol a 42 mm del pla de massa i un EBG a 40 mm del pla de massa.	62
Il·lustració 75: Diagrama de radiació amb IE3D, dipol a 42 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	62
Il·lustració 76: Corrent dipol a 200MHz simulat amb IE3D.....	63
Il·lustració 77: Corrent a 310 MHz simulat amb IE3D.....	63
Il·lustració 78: Diagrama, dipol a 42 mm de pla de massa sense EBG.....	64
Il·lustració 79: Estructura generada amb IE3D vista des de dalt a 42 mm de pla de massa.....	64
Il·lustració 80: S11 simulat IE3D - Dipol a 42 mm de pla de massa sense EBG. ...	65
Il·lustració 81: Carta Smith simulada amb IE3D per dipol a 42 mm de pla de massa sense EBG.....	65
Il·lustració 82: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un dipol a 42 mm del pla de massa sense EBG.....	66
Il·lustració 83: Comparativa entre dipol A 60 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.....	67
Il·lustració 84: Comparativa entre dipol A 42 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.....	67
Il·lustració 85: Bowtie en espai lliure a 300MHz	68
Il·lustració 86: Bowtie IE3D en espai lliure.....	68
Il·lustració 87: S11 - IE3D- antena bowtie en espai lliure.....	69
Il·lustració 88: Carta Smith IE3D- Bowtie 300MHz en espai lliure.....	69
Il·lustració 89: Eficiència de radiació i d'antena per bowtie a 300MHz en espai lliure	70
Il·lustració 90: Diagrama BOWTIE a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa	70
Il·lustració 91 Estructura vista de dalt en IE3D de BOWTIE a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa	71
Il·lustració 92S11 simulat en IE3D de BOWTIE a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de.....	71

Il·lustració 93: Carta Smith simulada amb IE3D per BOWTIE a 60 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	72
Il·lustració 94: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un BOWTIE a 60 mm del pla de massa i un EBG a 40 mm del pla de massa.	73
Il·lustració 95: Diagrama de radiació amb IE3D, BOWTIE a 60 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	73
Il·lustració 96: Corrent BOWTIE a 200MHz simulat amb IE3D	74
Il·lustració 97: Corrent BOWTIE a 350MHz simulat amb IE3D	74
Il·lustració 98: Diagrama, BOWTIE a 60 mm de pla de massa sense EBG.	75
Il·lustració 99: Estructura BOWTIE generada amb IE3D vista des de dalt a 60 mm de pla de massa	75
Il·lustració 100: S11 simulat amb IE3D de BOWTIE a 60 mm de pla conductor sense EBG.....	76
Il·lustració 101: Carta de Smith simulada amb IE3D del BOWTIE a 60 mm del pla de massa sense EBG.	76
Il·lustració 102: Eficiència de radiació i d'antena simulades amb IE3D per un BOWTIE a 60mm del pla de massa sense EBG.	77
Il·lustració 103: Diagrama de BOWTIE a 42 mm de pla de massa amb EBG a 40 mm de pla de massa.....	77
Il·lustració 104: Estructura en IE3D de BOWTIE a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa	78
Il·lustració 105: S11 simulat en IE3D de BOWTIE mm del pla de massa més EBG a 40 mm del pla de massa.	78
Il·lustració 106: Carta Smith simulada amb IE3D per BOWTIE a 42 mm de pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	79
Il·lustració 107: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un BOWTIE a 42 mm del pla de massa i un EBG a 40 mm del pla de massa.....	80
Il·lustració 108: Diagrama de radiació amb IE3D, BOWTIE a 42 mm del pla de massa més EBG a 40 mm de pla de massa.	80
Il·lustració 109: Corrent BOWTIE a 200MHz simulat amb IE3D	81
Il·lustració 110: Corrent BOWTIE a 260MHz simulat amb IE3D	81
Il·lustració 111: Diagrama, BOWTIE a 42 mm de pla de massa sense EBG.....	82
Il·lustració 112: BOWTIE generada amb IE3D vista des de dalt a 42 mm de pla de massa.....	82
Il·lustració 113: S11 simulat IE3D - BOWTIE a 42 mm de pla de massa sense EBG.	83
Il·lustració 114: Carta Smith simulada amb IE3D per BOWTIE a 42 mm de pla de massa sense EBG.....	84
Il·lustració 115: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D per un BOWTIE a 42 mm del pla de massa sense EBG	85
Il·lustració 116: comparativa entre BOWTIE A 60 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.....	86

Il·lustració 117: Comparativa entre BOWTIE a 42 mm del pla de massa amb EBG i sense EBG.....	86
Il·lustració 118: Croquis estructura HIS.	87
Il·lustració 119: Estructura HIS de 15x15	87
Il·lustració 120: Escenari dipol lliure a 2,45 GHz.....	88
Il·lustració 121: Dipol en IE3D - espai lliure 2,45GHz.....	88
Il·lustració 122: S11 - Dipol en espai lliure 2,45 GHz - IE3D	89
Il·lustració 123: Carta Smith - Dipol 2,45 GHz en espai lliure - IE3D	89
Il·lustració 124: Eficiència d'antena i de radiació del dipol a 2,45 GHz.....	90
Il·lustració 125: Diagrama escenari: dipol a 13,58mm Ground Plane + EBG a 1,58 mm.....	90
Il·lustració 126: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58mm del pla de massa.....	91
Il·lustració 127: S11 de dipol a 13,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.....	91
Il·lustració 128: Carta de Smith de dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.....	92
Il·lustració 129: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	92
Il·lustració 130: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 13,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.	93
Il·lustració 131: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 13,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	93
Il·lustració 132: Corrent a 2,4 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 13,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	94
Il·lustració 133: Diagrama escenari: dipol a 13,58mm Ground Plane.....	94
Il·lustració 134: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 13,58 mm de pla de massa	95
Il·lustració 135: S11 de dipol a 13,58 mm del pla de massa	95
Il·lustració 136: Carta de Smith de dipol a 13,58 mm de pla de massa	96
Il·lustració 137: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 13,58 mm de pla de massa.....	96
Il·lustració 138: Diagrama escenari: dipol a 7,58mm Ground Plane + EBG a 1,58 mm.....	97
Il·lustració 139: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58mm del pla de massa.....	97
Il·lustració 140: S11 de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.....	98
Il·lustració 141: Carta de Smith de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.....	98
Il·lustració 142: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	99
Il·lustració 143: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.	99

Il·lustració 144: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	100
Il·lustració 145: Corrent a 2,4 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	100
Il·lustració 146: Diagrama escenari: dipol a 7,58mm Ground Plane	101
Il·lustració 147: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa.	101
Il·lustració 148: S11 de dipol a 7,58 mm del pla de massa.....	102
Il·lustració 149: Carta de Smith de dipol a 7,58 mm de pla de massa	102
Il·lustració 150: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 7,58 mm de pla de massa.....	103
Il·lustració 151: Diagrama escenari: dipol a 7,58mm Ground Plane + EBG amb Wp=437,1 mm a 1,58 mm.	103
Il·lustració 152: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb Wp=437,1 mm a 1,58mm del pla de massa.	104
Il·lustració 153: S11 de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG amb Wp=437,1 mm a 1,58 mm del pla de massa.....	104
Il·lustració 154: Il·lustració 141: Carta de Smith de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb WP=437,1 a 1,58 mm del pla de massa.....	105
Il·lustració 155: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb WP=437,1 a 1,58 mm de pla de massa.	105
Il·lustració 156: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 7,58 mm de pla de massa més EBG amb WP=437,1 mm a 1,58 mm del pla de massa.	106
Il·lustració 157: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG amb WP=437,1 mm a 1,58 mm de pla de massa.	106
Il·lustració 158: Corrent a 2,4 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 7,58 mm del pla de massa més EBG amb WP=437,1 mm a 1,58 mm de pla de massa.	107
Il·lustració 159: es compara l'eficiència entre el dipol a 13,58mm amb i sense EBG	107
Il·lustració 160: es compara l'eficiència entre el dipol a 7,58mm amb i sense	108
Il·lustració 161: comparativa l'eficiència entre el dipol a 7,58mm amb EBG Wp=26,9 i amb EBG Wp=437,1 mm	109
Il·lustració 162: Es compara el S11 pel dipol a 7,58mm amb EBG de Wp=26,9 i amb EBG de Wp=437,1 mm	110
Il·lustració 163: Escenari dipol serpentí lliure a 2,45 GHz.	110
Il·lustració 164: 121: Dipol serpentí en IE3D - espai lliure 2,45GHz	111
Il·lustració 165: S11 - Dipol serpentí en espai lliure 2,45 GHz - IE3D	111
Il·lustració 166: Carta Smith - Dipol serpentí 2,45 GHz en espai lliure - IE3D.....	112
Il·lustració 167: Eficiència d'antena i de radiació del dipol serpentí a 2,45 GHz ...	112
Il·lustració 168: Diagrama escenari: dipol serpentí a 7,58mm Ground Plane + EBG a 1,58 mm	113

Il·lustració 169: Vista des de dalt en IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58mm del pla de massa.....	113
Il·lustració 170: S11 de dipol serpentí a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.	114
Il·lustració 171: Carta de Smith de dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm del pla de massa.....	114
Il·lustració 172:Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.....	115
Il·lustració 173: Corrent a 2GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	116
Il·lustració 174: Corrent a 2,75 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm del pla de massa més EBG a 1,58 mm de pla de massa.	116
Il·lustració 175: Diagrama escenari: dipol serpentí a 7,58mm Ground Plane.....	117
Il·lustració 176: Vista des de dalt en IE3D de dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa.....	117
Il·lustració 177: S11 de dipol serpentí a 7,58 mm del pla de massa.....	118
Il·lustració 178: Carta de Smith de dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa....	118
Il·lustració 179: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol serpentí a 7,58 mm de pla de massa	119
Il·lustració 180: es compara l'eficiència entre el dipol serpentí a 7,58mm amb i sense.....	120
Il·lustració 181: Cel·la HIS d'ossos.	121
Il·lustració 182: Estructura HIS 6x5 ossos.....	121
Il·lustració 183: Escenari dipol serpentí lliure a 5,25 GHz.	122
Il·lustració 184: Dipol en IE3D - espai lliure 5,25GHz.....	122
Il·lustració 185: S11 - Dipol en espai lliure 5,25 GHz - IE3D.....	123
Il·lustració 186: Carta Smith - Dipol 8 GHz en espai lliure - IE3D.....	123
Il·lustració 187: Eficiència d'antena i de radiació del dipol a 5,25 GHz.....	124
Il·lustració 188: Diagrama escenari: dipol a 3,22 mm Ground Plane + HIS d'ossos a 1,61 mm	124
Il·lustració 189: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 3,22 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61mm del pla de massa.....	125
Il·lustració 190: S11 de dipol a 3,22 mm del pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa.	125
Il·lustració 191: Carta de Smith de dipol a 3,22 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa.	126
Il·lustració 192: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 3,22 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm de pla de massa.	126
Il·lustració 193: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 3,22 mm de pla de massa més EBG a 1,61 mm del pla de massa.	127
Il·lustració 194: Corrent a 6GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 3,22 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa.	127

Il·lustració 195: Corrent a 8 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 3,22 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa.	128
Il·lustració 196: Diagrama escenari: dipol a 3,22 mm Ground Plane	128
Il·lustració 197: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 3,22 mm de pla de massa.	128
Il·lustració 198: S11 de dipol a 3,22 mm del pla de massa.....	129
Il·lustració 199: Carta de Smith de dipol a 3,22 mm de pla de massa	129
Il·lustració 200: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 3,22 mm de pla de massa.....	130
Il·lustració 201: Diagrama escenari: dipol a 1,7 mm Ground Plane + HIS d'ossos a 1,61 mm	130
Il·lustració 202: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 1,7 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61mm del pla de massa.....	131
Il·lustració 203: S11 de dipol a 1,7 mm del pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa	131
Il·lustració 204: Carta de Smith de dipol a 1,7 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm del pla de massa.	132
Il·lustració 205: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 1,7 mm de pla de massa més HIS d'ossos a 1,61 mm de pla de massa.....	132
Il·lustració 206: Diagrama de radiació amb IE3D de dipol a 1,7 mm de pla de massa més EBG a 1,61 mm del pla de massa.	133
Il·lustració 207: Corrent a 5GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 1,7 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa	133
Il·lustració 208: Corrent a 7 GHz de l'estructura simulat amb IE3D de dipol a 1,7 mm del pla de massa més HIS d'ossets a 1,61 mm de pla de massa.	134
Il·lustració 209: Diagrama escenari: dipol a 1,7 mm Ground Plane	134
Il·lustració 210: Vista des de dalt en IE3D de dipol a 1,7 mm de pla de massa... ..	134
Il·lustració 211: S11 de dipol a 1,7 mm del pla de massa.....	135
Il·lustració 212: Carta de Smith de dipol a 1,7 mm de pla de massa	135
Il·lustració 213: Eficiència de radiació i d'antena simulat amb IE3D, dipol a 1,7 mm de pla de massa	136
Il·lustració 214: comparativa d'eficiència entre dipol 3.22 mm del pla de massa amb HIS BONES a 1,61mm i NO HIS.....	136
Il·lustració 215: comparativa d'eficiència entre dipol 1,7 mm del pla de massa amb HIS BONES a 1,61mm i NO HIS.	137
Il·lustració 216: comparativa d'eficiència entre dipol a 3,22 amb HIS BONES i a 1,7 del pla de massa amb HIS BONES.....	138

8. ÍNDEX DE TAULES.

Taula 1: Article 1: Mides dipol serpentí.....	19
Taula 2: Article 1: Dimensions HIS.....	19
Taula 3: Article 1 mides de dielèctrics.....	20
Taula 4: Article 1: Perímetres estructura HIS.	20
Taula 5: Article 3: dimensions anells del HIS circular	28
Taula 6: Article 8: Acoblament segons nombre de cel·les.....	39
Taula 7: Estudi Mides d'EBG amb VIA.....	48
Taula 8: Mides cel·la d'estructura HIS	87
Taula 9: Mides CEL·LA HIS OSSOS.....	121

9. ÍNDEX D'EQUACIONS.

Equació 1: Article 1: equacions LC	20
Equació 2: Eficiència de radiació	47
Equació 3: Eficiència d'antena.....	47