



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL DEL TFG: Cobertura radio dins de les cabines dels vehicles en funció de la banda de freqüències

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria de Sistemes de Telecomunicació

AUTOR: Ricard de Jódar Luis

DIRECTOR: Lluís Jofre Roca

DATA: 25 de gener del 2021

Títol: Cobertura radio dins de les cabines dels vehicles en funció de la banda de freqüències

Autor: Ricard de Jódar Luis

Director: Lluís Jofre Roca

Data: 25 de gener del 2021

Resum

L'objectiu d'aquest TFG és analitzar les cobertures inalàmbriques de l'interior dels vehicles mitjançant una tècnica espectral iterativa en funció de la banda de freqüències. Es pretén fer una primera aproximació entre vehicles o mitjançant vehicle-infraestructura de les antenes que es poden incorporar en els sistemes V2X. Per això, hem introduït diferents models de vehicles per a poder analitzar cadascun d'ells.

A partir de la tècnica de propagació incremental veurem com afecten les ones electromagnètiques i com es propaga el senyal quan hi ha obstacle per mig, per a després introduir la tècnica en l'interior d'un vehicle.

El senyal serà emès per una font que introduïrem a dins del vehicle, que serà unidireccional o bidireccional. L'anàlisi de la cobertura en l'interior dels diferents models de vehicles es realitzarà en funció a quatre rangs de freqüències: 2 GHz, 3.6 GHz, 5.9 GHz i 24 GHz.

L'eina amb la que es realitzaran les simulacions és el software Matlab "In cabin Wireless coverage" i servirà per a veure de manera més visual com afecten els raigs que irradia l'antena pel que fa a les cobertures inalàmbriques en l'interior dels vehicles. Aquestes simulacions es realitzaran en un entorn aproximat, ja que treballarem amb una imatge plana quan en la vida real hauria de ser volumètrica.

Finalment, un cop analitzat totes les cobertures per a cadascuna de les freqüències, s'extrauran diverses conclusions on s'explicarà per a quin cas serà millor treballar en un marge de freqüències per aconseguir cobrir al màxim possible tot l'interior del vehicle per poder arribar a cobrir les necessitats dels passatgers i així monitoritzar tot l'interior de la cabina.

Título: Cobertura radio dentro de las cabinas de los vehículos en función de la banda de frecuencias

Autor Ricard de Jódar Luis

Director: Lluís Jofre Roca

Fecha: 25 de enero del 2021

Resumen

El objetivo de este TFG es analizar las coberturas inalámbricas del interior de los vehículos mediante una técnica espectral iterativa en función de la banda de frecuencias. Se pretende hacer una primera aproximación entre vehículos o mediante vehículo-infraestructura de las antenas que se pueden incorporar en los sistemas V2X. Por ello, hemos introducido diferentes modelos de vehículos para poder analizarlos cada uno de ellos.

A partir de la técnica de propagación incremental veremos cómo afectan las ondas electromagnéticas y cómo se propaga la señal cuando hay un obstáculo por medio, para después introducir la técnica en el interior de un vehículo.

La señal será emitida por una fuente que introduciremos dentro del vehículo, que será unidireccional o bidireccional. El análisis de la cobertura en el interior de los diferentes modelos de vehículos se realizará en función a cuatro rangos de frecuencias: 2 GHz, 3.6 GHz, 5.9 GHz y 24 GHz.

La herramienta con la que se realizarán las simulaciones es el software Matlab "In cabin Wireless coverage" y servirá para ver de manera más visual cómo afectan los rayos que irradia la antena con respecto a las coberturas inalámbricas en el interior de los vehículos. Estas simulaciones se realizarán en un entorno aproximado, ya que trabajaremos con una imagen plana cuando en la vida real debería ser volumétrica.

Finalmente, una vez analizado todas las coberturas para cada una de las frecuencias, se extraerán varias conclusiones donde se explicará para qué caso será mejor trabajar en un margen de frecuencias para conseguir cubrir al máximo posible todo el interior del vehículo para poder llegar a cubrir las necesidades de los pasajeros y así monitorizar todo el interior de la cabina.

Title: Radio coverage inside the cabs of vehicles depending on the frequency band

Author: Ricard de Jódar Luis

Director: Lluís Jofre Roca

Date: January 25th 2021

Overview

The objective of this TFG is to analyse the wireless coverage of the inside of vehicles using an iterative spectral technique based on the frequency band. It is intended to make a first approach between vehicles or through vehicle-infrastructure of the antennas that can be incorporated into V2X systems. For that reason, we have introduced different vehicle models so that we can analyse each of them.

Using the incremental propagation technique, we will see how electromagnetic waves affect and how the signal propagates when there is an obstacle in the middle, then introduce the technique inside a vehicle.

The signal will be emitted by a source that we will introduce inside the vehicle, that will be unidirectional or bidirectional. The analysis of the coverage inside the different vehicles models will be performed according to four frequency ranges: 2 GHz, 3.6 GHz, 5.9 GHz and 24 GHz.

The tool with which the simulations will be performed is the Matlab software "In cabin Wireless coverage" and will be used to see more visually how the rays radiated by the antenna affect in terms of wireless coverage inside vehicles. These simulations will be performed in an approximate environment, as we will work with a flat image when in real life it should be volumetric.

Finally, after analysing all the coverage of each of the frequencies, some conclusions will be drawn and we will use them to explain in which case it will be better to work in a range of frequencies to achieve cover as much as possible the entire interior of the vehicle to be able to meet the needs of passengers and thus monitor the entire interior of the cabin.

Aquest TFG va dedicat a totes les persones que m'han ajudat a arribar fins aquí. No ha estat una etapa de final de carrera senzilla ja que el maleït virus ens ha canviat la vida a tothom. Malgrat això hem sabut sobreposar-nos i amb esforç i treball ens hem sortit.

Al meu tutor del projecte Lluís Jofre, per la seva ajuda i dedicació al llarg d'aquest treball, ha sabut transmetre'm els coneixements i m'ha motivat cada dia que ens veiem a través de la pantalla, m'ha fet gaudir d'aquest projecte i sense ell no hagués sigut capaç de fer-ho.

Finalment el vull dedicar a la meva família, en especial als meus pares, a la meva germana i a la meva parella. Tots ells de diferents formes m'han ajudat en la realització del projecte, des de dubtes gramaticals, com traslladar una idea a una expressió escrita o simplement amb la seva paciència, confiança i amor. Espero que tots ells es sentin tant orgullosos de mi com jo d'ells.

Índex d'acrònims

BMP	Bitmap
COVID	Coronavirus Disease 2019
DFT	Discrete Fourier Transform
FFT	Fast Fourier Transform
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IPv6	Internet Protocol version 6
ITS	Intelligent Transport System
LTE	Long Term Evolution
MATLAB	Matrix Laboratory
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PDP	Power Delay Profile
RSU	Road Side Units
SIM	Subscriber Identity Module
USB	Universal Serial Bus
V2D	Vehicle to Device
V2G	Vehicle to Grid
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2M	Vehicle to Motorcycle
V2N	Vehicle to Network
V2P	Vehicle to Pedestrian
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
WIFI	Wireless Fidelity
2D	Two Dimensional
3GPP	Third Generation Partnership Project

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	15
1.1. Comunicacions vehiculars	15
1.2. Fonts de senyal en l'interior dels vehicles	19
1.3. Paràmetres que influeixen al senyal	20
1.4. Objectiu del projecte	21
2. TÈCNICA DE PROPAGACIÓ INCREMENTAL	23
2.1. El mètode incremental	23
2.2. Equació d'ona	26
2.3. Evolució dels camps radiats per una antena	28
2.3.1. Sense obstacle	28
2.3.2. Amb obstacle	29
2.3.3. En l'interior entre dos obstacle	31
3. COBERTURES INTERIORS DE VEHICLES	34
3.1. Diversos models de vehicles	34
3.1.1. Autobús	34
3.1.2. Automòbil	37
3.2. Disseny de la posició òptima de la font	42
3.2.1. Font variable	43
3.2.1.1. Antena unidireccional	43
3.2.1.2. Antena bidireccional	44
4. RESULTATS	45
4.1. A freqüències baixes: 2 GHz	46
4.1.1. Cobertures interior vehicle	46
4.1.1.1. Antena radiant al davant del vehicle	46
4.1.1.2. Antena radiant al mig del vehicle	51
4.1.2. Aspectes a destacar en la cobertura	55
4.2. A freqüències inter mitges: 3.6 GHz i 5.9 GHz	57
4.2.1. Cobertures interior vehicle	57
4.2.1.1. 3.6 GHz i 5.9 GHz: Antena radiant al davant del vehicle	57
4.2.1.2. 3.6 GHz i 5.9 GHz: Antena radiant al mig del vehicle	67
4.2.2. Aspectes a destacar en la cobertura	76
4.3. A freqüències altes: 24 GHz	77
4.3.1. Cobertures interior vehicle	77

4.3.1.1.	<i>Antena radiant al davant del vehicle</i>	77
4.3.1.2.	<i>Antena radiant al mig del vehicle</i>	82
4.3.2.	Aspectes a destacar en la cobertura	86
4.4.	Cobertura des de un vehicle a l'altre	87
4.5.	Comparativa freqüències baixes VS freqüències altes	89
5.	CONCLUSIONS I TREBALLS FUTURS	91
5.1.	Conclusions	91
5.2.	Treballs futurs	92
6.	BIBLIOGRAFIA	93

Índex de figures

Figura 1.1 Tipus de comunicacions V2X [2].....	16
Figura 1.2 Connectivitat vehicle Wi-Fi 5G [6].....	19
Figura 2.1 Escenari previ al mètode incremental	23
Figura 2.2 Escenari amb font ubicada a l'origen	24
Figura 2.3 Escenari del camp elèctric	25
Figura 2.4 Escenari de punts bloquejats per l'objecte	25
Figura 2.5 Transició FFT-IFFT	27
Figura 2.6 Antena radiant sense obstacle	29
Figura 2.7 Antena radiant en obstacle quadrat.....	30
Figura 2.8 Antena radiant en obstacle rodó	30
Figura 2.9 Antena radiant quan hi ha dos obstacles amb les mateixes dimensions.....	32
Figura 3.1 Autobús a escala en color.....	35
Figura 3.2 Autobús a escala de bits	35
Figura 3.3 Automòbil biplaça vist lateralment a escala en color [11].....	38
Figura 3.4 Automòbil quatre places vist lateralment a escala en color [12].....	38
Figura 3.5 Automòbil quatre places vist de de d'alt a escala en color [13]	39
Figura 3.6 Automòbil biplaça amb passatgers a escala de bits	39
Figura 3.7 Automòbil biplaça sense passatgers a escala de bits	40
Figura 3.8 Automòbil de quatre places vist lateralment a escala de bits	40
Figura 3.9 Automòbil de quatre places vist des de dalt a escala de bits	40
Figura 4.1 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	46
Figura 4.2 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça sense passatgers.....	47
Figura 4.3 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers	48
Figura 4.4 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en autobús amb passatgers	49
Figura 4.5 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers	50
Figura 4.6 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	51
Figura 4.7 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça sense passatgers.....	52

Figura 4.8 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers	53
Figura 4.9 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en autobús amb passatgers	54
Figura 4.10 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers	55
Figura 4.11 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	57
Figura 4.12 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	58
Figura 4.13 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça sense passatgers	59
Figura 4.14 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça sense passatgers	60
Figura 4.15 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers	61
Figura 4.16 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers	62
Figura 4.17 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en autobús amb passatgers	63
Figura 4.18 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en autobús amb passatgers	64
Figura 4.19 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers	65
Figura 4.20 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers	66
Figura 4.21 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	67
Figura 4.22 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	68
Figura 4.23 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça sense passatgers	69
Figura 4.24 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça sense passatgers	70
Figura 4.25 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers	71
Figura 4.26 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers	72
Figura 4.27 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en autobús amb passatgers	73
Figura 4.28 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en autobús amb passatgers	74

Figura 4.29 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers.....	75
Figura 4.30 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers.....	76
Figura 4.31 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	77
Figura 4.32 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça sense passatgers.....	78
Figura 4.33 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers.....	79
Figura 4.33 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en autobús amb passatgers	80
Figura 4.34 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers.....	81
Figura 4.35 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça amb passatgers	82
Figura 4.36 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça sense passatgers.....	83
Figura 4.37 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers.....	84
Figura 4.38 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en autobús amb passatgers	85
Figura 4.39 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers.....	86
Figura 4.40 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça amb passatgers.....	87
Figura 4.41 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça amb passatgers.....	88
Figura 4.42 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça amb passatgers.....	88
Figura 4.43 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça amb passatgers.....	89

Índex de taules

Taula 1.1. Comparativa G5 i 5G.....	18
Taula 3.1. Valors a escala de píxels per a l'autobús en cada freqüència	37
Taula 3.2. Valors a escala de píxels per a l'automòbil en cada freqüència	41
Taula 4.1. Cobertura freqüències baixes VS freqüències altes	90

1. INTRODUCCIÓ

Per què donem tanta importància a la cobertura a l'interior d'un vehicle? En aquest treball explicarem el perquè i quins beneficis tecnològics i causes pot haver-hi. Amb els cotxes connectats de la nova mobilitat, l'interior dels vehicles es convertirà en un espai en el que es realitzaran multitud d'activitats, com per exemple: activitats d'entreteniment, activitats de treball, activitats de e-health, etc. Una gran part de les activitats que es realitzaran seran la monitorització dels passatgers. Per a fer totes aquestes aplicacions possibles, necessitem controlar molt bé la cobertura dels senyals a l'interior dels vehicles. Aquesta cobertura pot venir de fonts externes o bé, si volem donar unes cobertures molt bones, vindran de fonts internes. En aquest treball ens concentrarem, principalment, en la cobertura de l'interior dels vehicles produïda per fonts internes.

1.1. Comunicacions vehiculars

Actualment, hi ha una guerra comercial entre dues forces: una són els fabricants de vehicles (BMW, Volkswagen, Renault, etc.) i l'altre són les telcos, les companyies de telecomunicacions (Telefònica, Vodafone, etc.). Aquesta baralla és causada pel control del mercat del cotxe connectat on acabaran sent un ampli volum de vehicles fent un sol us. Per tant, tant els fabricants de vehicles com les companyies de telecomunicacions els hi volen vendre les targetes SIM.

Fa cinc anys, els fabricants de vehicles varen pensar que per a ells la millor opció era la de tenir un sistema de comunicacions propi, no compartit amb les companyies de telecomunicacions i això era bàsicament unes comunicacions que es basaven amb un estàndard Wi-Fi a una freqüència de 5.9 GHz. Tot això va ser fins fa dos o tres anys. Els promotors d'això van ser, sobre tot, els americans (Ford, Chrysler, etc.). A Europa estaven reticents amb aquest tema i pensaven que era millor un sistema comú amb les telecomunicacions. Fa uns 2 anys que tot això ha canviat ja que el lobby de fabricants de vehicles europeus va fer pressió davant Brussel·les per a convèncer-los de la importància que era tenir un sistema de comunicacions propi perquè seria més segur i robust. Europa va anar basculant, des d'utilitzar un sistema comú fins a un sistema específic. Mentre Europa intentava agafar un sol camí, els EEUU van fer el moviment contrari ja que van passar a Qualcomm a fabricar xips de telecomunicacions i els de Qualcomm van dir: "no te cap sentit tenir dues xarxes separades, tinguem-ne una de sola". De tot això se'n diu la guerra 5G telcos, G5 la Wi-Fi 5.9 GHz.

Els fabricants de vehicles no han deixat d'invertir el seu esforç en el desenvolupament de noves tecnologies adreçades a la seguretat i al confort dels seus usuaris. Els sistemes de seguretat que s'han anat introduint com a noves opcions per a protegir als ocupants, s'han convertit, finalment, en estàndards d'obligada implementació per als nous models de vehicles que surten actualment al mercat.

Totes les noves tecnologies de monitoratge i comunicacions amb la xarxa terrestre s'accentuen ara amb l'aparició de vehicles dotats d'una major intel·ligència i capacitat de sensorització i processament.

La comunicació Vehicle-to-Everything (V2X) [1] és un terme que conté molts acrònims diferents depenent del tipus de parell amb el qual es comuniqui el vehicle:

- V2I (Vehicle-to-Infrastructure): per a comunicar-se amb l'equipament de vies de circulació (RSU, Road Side Units) com ara semàfors i càmeres de trànsit.
- V2V (Vehicle-to-Vehicle): per a comunicar-se entre vehicles, sense la xarxa de telecomunicacions.
- V2P (Vehicle-to-Pedestrian): per a un escaneig proactiu de vianants i/o bicicletes. Es preveu que diversos tipus de dispositius ajudin a la V2P, com telèfons intel·ligents, cadires de passeig, llums i navegadors per a bicicletes.
- V2D (Vehicle-to-Device): per a comunicar-se amb dispositius intel·ligents com un smartphone, una clau intel·ligent i un localitzador per a cotxe.
- V2G (Vehicle-to-Grid): perquè els vehicles elèctrics es comuniquin amb la xarxa elèctrica.
- V2M (Vehicle-to-Motorcycle): per a comunicar-se amb les motocicletes.
- V2N (Vehicle-to-Network): per a comunicar-se amb una xarxa mòbil i tenir connexió de xarxes, contingut també amb el V2I.



Figura 1.1 Tipus de comunicacions V2X [2]

La introducció de les comunicacions inalàmbriques obre un ampli ventall de possibilitats a la indústria de l'automoció. En l'actualitat, molts vehicles incorporen

sistemes connectats a Internet que ofereixen funcions de seguretat i monitorització de l'estat tècnic i paràmetres de funcionament. Entre les funcions de seguretat, figuren algunes com la detecció d'accidents, connexió amb un centre d'alarma per a la trucada automàtica a un centre d'emergències, localització en cas de robatori, desconnexió remota del vehicle si fos necessari, etc.

La gran quantitat de noves funcionalitats del vehicle connectat estan encara per descobrir. De fet, formen part de la investigació sobre els nous vehicles en els propers anys. Si a les capacitats de comunicació li sumem la intel·ligència introduïda en forma d'algoritmes per a la presa de decisions, les possibles funcionalitats a inventar es disparen.

Una de les principals aplicacions en què inverteixen els fabricants de vehicles és en la seguretat dels seus ocupants i la capacitat d'evitar o minimitzar les conseqüències d'una col·lisió. Aquesta és una de les principals raons per a justificar un sistema de comunicacions de curt abast de vehicle a vehicle (V2V).

El fet que dos vehicles puguin comunicar-se entre si, servirà entre altres futures aplicacions, per a donar a conèixer les condicions desfavorables en la circulació, accidents a la via, obstacles, preferències de pas, semàfors, control de creuer, control de velocitat, avís de obres a la calçada, pas d'un vehicle d'emergència, etc. A més, si un vehicle no estigués connectat a Internet i un altre proper sí que ho estigués, el primer podria utilitzar al segon per a transmetre una notificació d'estat pública o una alarma d'emergència mitjançant el segon.

El sistema es veurà complementat amb nodes fixos a la carretera. Imaginem que un semàfor, un radar de velocitat o les pròpies senyals de trànsit jugaran un paper important en aquest tipus de xarxes. No obstant això, al tractar-se d'un sistema que comunicarà vehicles de diferents fabricants i tecnologies, cal que es desenvolupi en forma d'estàndard obert. Això permetrà que pugui ser implementat per a qualsevol fabricant.

En l'actualitat, es treballa en un sistema de comunicacions V2V que transmet a la banda de 5.9 GHz. Aquesta ofereix un ample de banda de 75 MHz i un rang aproximat de 1000m [3]. La capa física utilitzada és la mateixa que en Wi-Fi 802.11a utilitzant modulació OFDM [4]. Cada un d'aquests vehicles està la xarxa com un node de comunicacions. A més existeixen una altra sèrie de nodes terrestres, com els semàfors o els senyals. Tota aquesta xarxa de nodes, coberta d'una capa d'intel·ligència, formaria un Sistema de Transport Intel·ligent (ITS). Un dels principals organismes encarregat del disseny i la regulació d'aquests nous estàndards és l'IEEE [5] (Institute of Electrical and Electronics Engineers). L'estàndard seleccionat és el 802.11p i els protocols associats 1609. Per a la capa de transport s'utilitza IPv6 per la disponibilitat d'un nombre molt extens d'adreces disponibles.

A continuació mostrarem una petita taula comparativa entre el 5G i el G5 comentat anteriorment:

Taula 1.1. Comparativa G5 i 5G

	G5	5G
Estandardització	IEEE 802.11p	3GPP
Disponibilitat	Ara	Sota estandardització
Espectre	5.9 GHz (Europa, EE. UU.), 760 MHz (Japó) Espectre sense llicència	400 MHz a 100 GHz Espectre amb llicència i sense llicència
Latència	Pocs ms (depèn de el nombre de vehicles a la carretera)	1 ms
Rang	Curt - Pocs 100 metres	Llarg - depèn de la freqüència
Eficiència de l'espectre	Baix	Alt
Tasses de transferència de dades	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24 y 27 Mbps	Alt: fins a 10 Gbps
Escalabilitat	Mig	Alt
Infraestructura de xarxa	No. Mode directe	Tots dos. Manera directa i de xarxa
Fiabilitat	No garantit	Garantit
Seguretat	Xifrat, autenticació, però sense supervisió / supervisió de seguretat d'extrem a extrem	Seguretat per disseny. Autenticació d'extrem a extrem, xifrat, control d'accés, supervisió, gestió d'amenaçes, etc.
Aplicació compatible	V2V, V2I	V2V, V2I, V2P, V2N, IOT, gestió del trànsit, serveis d'ubicació, actualitzacions de programari, etc.

Ara bé, tota aquesta tecnologia que promet oferir unes característiques de protecció al transport i als seus usuaris, ha d'estar correctament dissenyada i auditada des del seu desenvolupament per a evitar que pugui ser hackejada en un futur. De fet, podrien significar un risc per a la vida dels usuaris. Tota infraestructura crítica, com pot considerar-se la xarxa de transport i comunicacions vials, ha de ser dissenyada des de l'inici, auditada de forma periòdica i actualitzat el seu programari i protocols de forma automàtica quan aparegui el mínim risc de seguretat.

Les cobertures dels interiors de segons quins vehicles amb fonts que provenen de l'exterior, poden donar un resultat no suficient, sobre tot per a grans amplituds de banda i, per tant, en el següent apartat estudiarem la conveniència de tenir fonts a l'interior dels vehicles.

1.2. Fonts de senyal en l'interior dels vehicles

En l'apartat anterior, hem vist la necessitat de tenir fonts en l'interior dels vehicles perquè així podem donar una millor cobertura del senyal. En aquest apartat parlarem de les fonts del senyal que hi pot haver en un vehicle.

La tecnologia avança cada vegada més ràpid i, encara més en la matèria de l'automòbil. Primer van ser els avenços en matèria de seguretat, després en matèria de confort i ara tothom busca estar connectat dins del vehicle.

Cada vegada més fabricants de cotxes aposten per incorporar internet Wi-Fi en els seus últims model [6], de fet són molts els avantatges que hi ha al comptar amb una connexió a Internet permanent en un vehicle.

Amb la introducció de l'estàndard de tecnologia mòbil 5G com a successor de LTE, s'ha establert un rumb cap a la conducció autònoma. Aquesta innovació podria fer que el Internet al vehicle sigui més que un assoliment pràctic: podria canviar la nostra forma de veure la mobilitat per a sempre.

Actualment, Espanya està planejant l'expansió de les xarxes 5G juntament amb l'empresa tecnològica xinesa Huawei [6], Ericsson, d'entre d'altres. Mentre que a fora d'Europa ja estan en el futur, on per exemple a Chicago, Minneapolis i la regió metropolitana de Seül ja estan disponibles les primeres xarxes públiques per a usuaris de telèfon mòbil des de principis d'abril de 2019.



Figura 1.2 Connectivitat vehicle Wi-Fi 5G [6]

Algunes de les marques que ofereixen Wi-Fi en l'interior del seu vehicle són:

- Audi: Audi Conect
- Honda: Honda Link

- BMW: Car Hotspot
- Land Rover i Jaguar: InControl
- Toyota: Toyota Hotspot
- Opel: OnStar

Tots aquests models de cotxes treballen per a oferir al client una manera d'estar connectat en l'interior d'un vehicle sense tenir que fer servir altres eines externes com mòdems, connectors USB, etc. El fet de que aquestes grans companyies busquin monitoritzar l'interior dels seus vehicles, ja fa pensar que les noves connexions inalàmbriques dintre de l'automòbil seran cada cop més segures. La cobertura del senyal radiant en l'interior del vehicle vindrà donada des de el mateix interior o des de l'exterior, tal i com en capítols posteriors analitzarem.

Un cop hem introduït la importància dels sistemes connectats a l'interior, més en concretament dels senyals radiants a l'interior del vehicle, ara hem d'analitzar com aquesta cobertura, més en concret la propagació del senyal és produït i per fer aquest anàlisi parlarem dels paràmetres més importants que els caracteritzen.

1.3. Paràmetres que influeixen al senyal

Diversos paràmetres que afecten al senyal [7] depèn de l'entorn, afectant més o menys depenent de si es indoor o outdoor. Primer diferenciarem dels que afecten a l'interior del vehicle i després dels paràmetres que són més importants a l'exterior. Els paràmetres a l'interior del vehicle seran:

- **Atenuació:** la paraula atenuació, simplement vol dir que l'amplitud del senyal va disminuint. En concret que el senyal és més petit. Aquesta atenuació es pot produir per diverses causes.
- **Reflexió:** degut a obstacles naturals, terra i edificis, el senyal es veu afectada per aquelles reflexions, els diferents camins que poden arribar al senyal transmesa poden ser reflectits per aquests obstacles i poden desfasar fins al receptor. Quan aquests senyals arriben al receptor poden arribar en fase (amplificant el seu valor) o en contra fase (interferir negativament).
- **Absorció:** l'absorció passa quan un objecte disminueix la intensitat de la radiació incident, fenomen que pot ocórrer el passar al senyal transmesa per vapor d'aigua o oxigen, a l'igual que passa amb la pluja, el senyal ve disminuïda, aquest paràmetre afecta més en freqüències majors, 15 GHz en el cas de l'aigua.

- Correlació: afecta més en entorns interiors que exteriors al estar molt a prop les components, donant lloc a més correlació espacial que afecta a les amplituds, temps d'arribada com a fases d'aquests raigs.

A altres formes d'atenuació que són més importants a l'exterior serien:

- Efecte Doppler: és el canvi de freqüència en l'ona degut al moviment relatiu de la font, aquest fenomen es relativament irrellevant en entorns interiors, mentre que si és de gran rellevància en entorns exterior ja que les antenes poden ser allotjades en trens o cotxes en moviment.
- Delay Spread: els entorns de propagació es caracteritzen per àrees d'aplicació no massa grans que donen lloc a PDP's relativament petits.
- Interferències: la interferència és quan, per exemple, es tenen dues fonts a dos cantonades de l'habitació propagant-se en sentit contrari i aquestes interfereixen, lo quan vol dir que en determinats punts amb contra fase interfereixen destructivament, però en altres punts interfereixen positivament. La interferència és redistribuir el senyal.
- Soroll: el soroll consisteix en l'energia electromagnètica o de freqüència de radio no desitjada que pot degradar i distorsionar la qualitat dels senyals.

1.4. Objectiu del projecte

En aquest projecte es pretén fer una primera aproximació de les antenes que es poden incorporar en els sistemes V2X. La informació que es transmet és entre vehicles (V2V) o entre vehicle-infraestructura (V2I). Per això, és important saber com irradia una antena situada en un vehicle i en particular, volem veure com els senyals, les ones que produeixen aquestes propagacions entren més o menys a l'interior del vehicle.

Dins del vehicles es realitzaran diverses activitats, el fet que ens portarà a dir que es monitoritzarà als passatgers. La monitorització dels passatgers es realitzarà, per exemple, enviant senyals vitals amb un radar que s'il·lumini a la persona que condueix lo que comporta que el cos vibri amb el cor i això ens pugui donar les pulsacions. Per tant es podrà monitoritzar les pulsacions vitals dels ocupants del vehicle. També se li podrà mesura la febre, se li podrà mesura si dorm, es podrà monitoritzar si a l'interior del vehicle hi ha possibles casos COVID (idealment en el futur) i així, amb una multitud d'activitats. També es podrà mesura la contaminació, ja que això seria monitoritzar les condicions ambientals i als passatgers. Per a fer tot això, necessitem controlar com de ven il·luminat tenim l'interior del vehicle. Necessitem saber quan hem de posar una font en un lloc o en un altre.

En aquest treball és veurà l'evolució de la propagació del senyal emesa per una antena situada en l'interior d'un vehicle. S'estudiaran com fer un càlcul òptim en el senyal propagat a l'interior i a quines freqüències podríem tenir millors comportaments que en d'altres. D'aquesta manera es pot analitzar quines parts de vehicle poden ser vulnerables a l'atenuació, el que pot donar lloc a un escenari real en què no es puguin realitzar les comunicacions. En conseqüència si la informació no es pot transmetre, la seguretat no està garantida.

Per a realitzar la simulació exposada s'utilitza la tècnica de propagació incremental. Aquesta tècnica es basa en analitzar l'evolució del senyal quan es propaga en un entorn (aire, obstacles, objectes, etc.). Amb el codi apropiat, utilitzant el software Matlab "In cabin Wireless coverage" es poden analitzar tants escenaris com l'evolució del senyal hi hagi dins d'un vehicle.

Un cop ja tinguem el codi "In cabin Wireless coverage", caldrà escollir quins models de vehicles s'escolliran i és modelaran per a fer la simulació, emfatitzant en que hi hagi diferències entre sí per a després poder comparar-los i treure'n conclusions. Es realitzaran les simulacions en diverses escales de freqüències, en concret en quatre d'elles: 2 GHz, 3.6 GHz, 5.9 GHz i 24 GHz per a després poder escollir en quina treballar.

Un cop ja tinguem escollit el model de vehicle que utilitzarem, caldrà analitzar les cobertures interiors per a optimitzar la banda de freqüència en la que treballar, per a després posar l'antena en un lloc adequat perquè irradii en el major possible.

Aquest anàlisi que estem fent és senzill, però sens dubte és aproximat. Direm que és aproximat perquè estem considerant només un tall central, mentre que la propagació en la vida real es faria a través de totes les seccions, però nosaltres estem considerant una imatge plana quan en la realitat seria volumètrica.

Per a finalitzar, s'obtidran un resultat de les diverses simulacions amb el software "In cabin Wireless coverage" on es trauran les primeres conclusions.

2. TÈCNICA DE PROPAGACIÓ INCREMENTAL

2.1. El mètode incremental

El principal objectiu de la tècnica de propagació incremental és veure l'evolució de la radiació d'una antena. La base del mètode és el que es denomina propagació incremental. Per a explicar el mètode tindrem un objecte, com pot ser un quadrat, el qual farà que bloquegi l'ona que es propaga. Primer haurem de crear una filera de 256 punts d'alçada en l'eix de les x que anirem propagant i una filera de 1024 punts horitzontal en l'eix de les z , tal i com es mostra en la **Figura 2.1**:

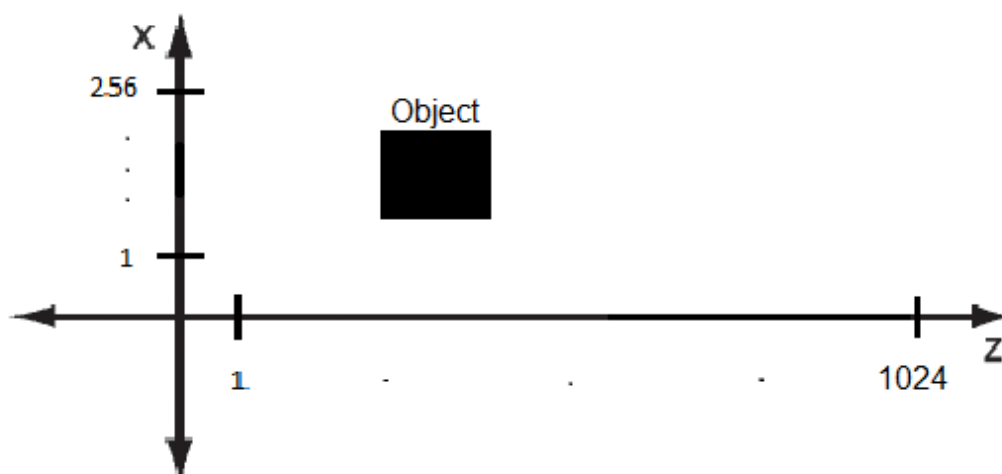


Figura 2.1 Escenari previ al mètode incremental

Primer s'ha de definir un punt inicial, que és el que nombrarem antena per a transmetre i el qual estarà a l'origen de la radiació. Aquesta font és el que denominarem com camp elèctric $E(x,z=0)$ ubicada en el pla $z=0$ tal i com es mostra en la figura següent:

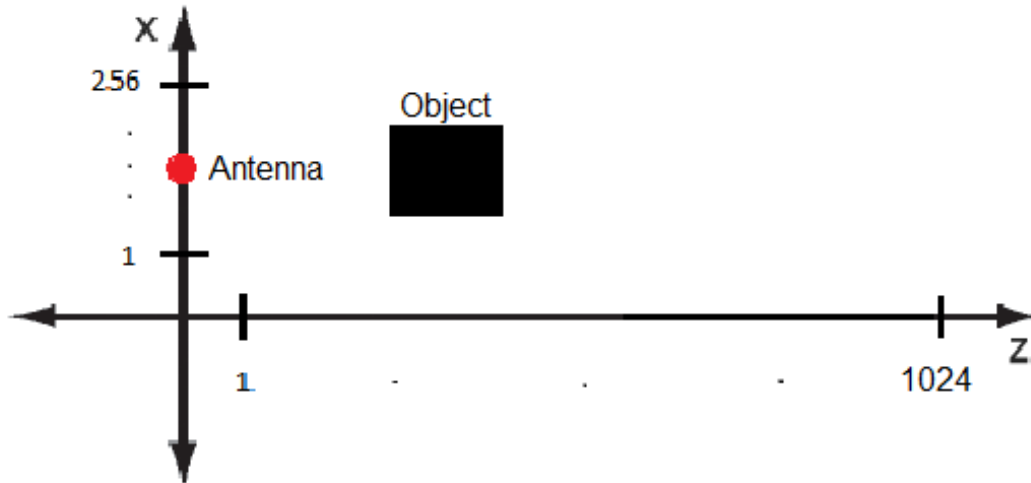


Figura 2.2 Escenari amb font ubicada a l'origen

Ens basarem en l'algoritme iteratiu espectral [8], que consistirà en anar endavant pas a pas i enrere després en la propagació del camp i de l'espectre. Aquesta tècnica es basa en la representació en el domini espectral de camps electromagnètics. Aquest camp elèctric, el de l'antena, és propaga espectralment cap endavant i cap enrere, successivament a través de l'aire i dels obstacles i la radiació es calcularà tenint en compte el desplaçament.

L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [9] defineix una antena com "aquella part d'un sistema transmissor o receptor dissenyada específicament per a radiar o rebre ones electromagnètiques". Dit d'una altra manera, l'antena és la transició entre un mitjà guiat i l'espai lliure. Les ones electromagnètiques es caracteritzen per la seva freqüència (f) i longitud d'ona (λ):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

on c és la velocitat de propagació de la llum en el medi ($3 \cdot 10^8$ m/s en l'espai lliure).

Un cop tinguem col·locada l'antena (element radiant) a l'inici en la posició mostrada en la **Figura 2.2**, tindrem tots els vectors de l'eix vertical posats a 0 menys el vector on tindrem col·locada l'antena que, estarà posat a 1. Quan ja tenim la font en el domini del camp elèctric $E(x, z)$ el que fem és una Transformada de Fourier Directe d'aquest camp elèctric on li direm l'espectre del camp elèctric $SE(K_x, K_z)$. Avancem en l'eix horitzontal $\lambda/4$, el que estarem dient és que fem una propagació incremental de $\lambda/4$ i avancem fins el proper increment, per això en el domini espectral avançar és molt senzill, ja que només cal multiplicar per una exponencial, en aquests cas $e^{jK_z \Delta z}$ on Δz és el salt que

estarem fent ($\lambda/4$). Per tant, multipliquem l'espectre i quan ja tenim l'espectre del camp elèctric propagat el que fem és la Transformada de Fourier Inversa i tornem al domini de l'espai. Es tornarà a propagar $\lambda/4$ i anem avançant per a cadascuna de les 1024 mostres que tindrem fins que no trobi cap obstacle, tal i com es mostra en la següent figura:

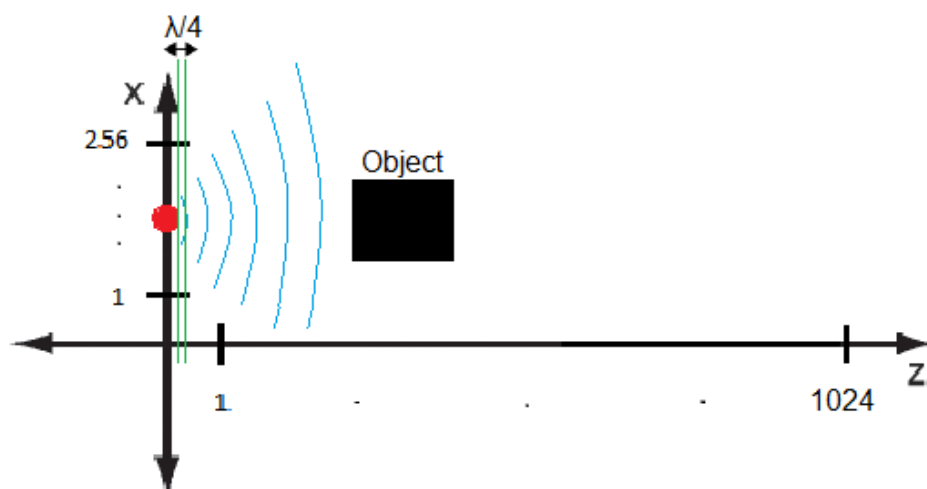


Figura 2.3 Escenari del camp elèctric

Quan arribem a l'obstacle, en aquest cas un quadrat, tots els punts que hi ha dins d'aquest quadrat en relació a la distribució de camp que transmet la font i són obstaculitzats per l'objecte, modifiquen aquest front i tots els punts els posarem a zero perquè queden bloquejats, no poden passar per l'objecte, tal i com es mostra en la següent figura:

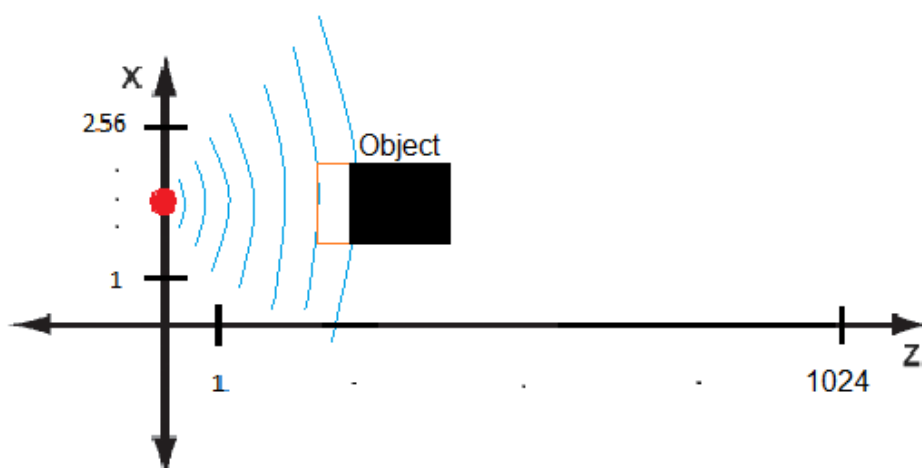


Figura 2.4 Escenari de punts bloquejats per l'objecte

En el següent punt, quan tornem a propagar $\lambda/4$, si encara hi ha l'obstacle tornem a posar tots els punts a zero i es repeteix la propagació incremental fins que ja no es trobi amb l'obstacle, el qual direm que en aquest punt es deixaran lliures. El que passa és que quan es troba un obstacle no és que els punts vagin a zero, sinó que els punts reboten enrere (en anglès és diu *Backward propagation* [8]). Es podria dir que quan ens trobem un obstacle, tots aquests punts que hem dit que són zero, en realitat el que fem és emmagatzemar-los en una matriu quan s'ha trobat l'objecte que ha fet d'obstacle i quan s'arriba al final, es torna enrere i es va recuperant tots aquests punts que han quedat bloquejats, fent-los radiar enrere.

Quan radiem enrere, fem els mateixos passos que hem fet quan radiem cap endavant, l'únic que canvia és que quan avancem en el domini espectral i multipliquem per l'exponencial, en aquest cas estarem multiplicant per una exponencial positiva ($e^{jkz\Delta z}$).

Per a realitzar aquesta tècnica és fonamental resoldre l'equació d'ona, ja sigui analíticament o mitjançant transformacions de Fourier. Pel nostre cas, haurem treballat amb la Transformada de Fourier Directe i Inversa per a poder analitzar el camp elèctric i l'espectre del camp elèctric. A continuació n'explicarem el seu mètode.

2.2. Equació d'ona

L'equació d'ona d'aquest treball conté el procés de la Transformada de Fourier que permet trobar l'expressió d'un camp elèctric en una posició desplaçada de l'origen. L'equació d'ona es defineix com a: [10]

$$\Delta^2 E_z + k^2 E_z = 0 \quad (2.2)$$

Com es pot apreciar, és difícil de manejar-la temporalment, però com que tots els càlculs i simulacions es fan amb Matlab, la solució proposada és utilitzar FFT i IFFT. Per aquest motiu, l'espectre d'ones planes dels camps resultants s'obté mitjançant FFT i es propaga en un sol pas per l'aire. Després, els camps del domini espacial es recuperen mitjançant IFFT al pla final. En la següent il·lustració, podrem veure tots els passos que es realitzaran:

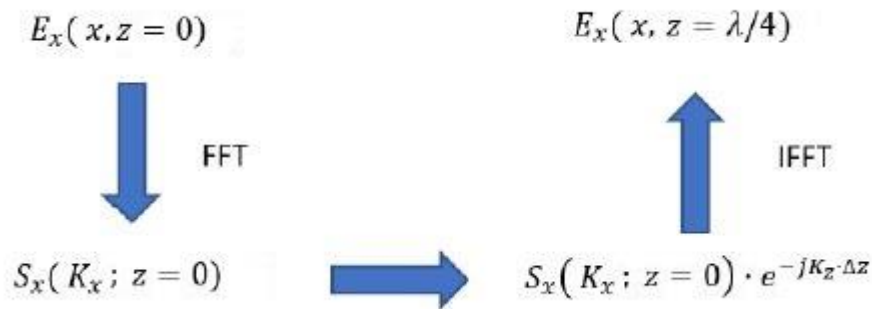


Figura 2.5 Transició FFT-IFFT

Per a entendre què passa amb els paràmetres, aquesta secció conté una breu explicació de la DFT [3].

La durada del pols es pot definir com:

$$L_x = N_x \cdot \Delta_x \quad (2.3)$$

on N_x és el nombre de mostres i Δ_x la distància entre mostres. En el domini de la freqüència, on es pot trobar la sinc, la distància entre mostres es defineix com a:

$$\Delta K_x = \frac{2\pi}{N_x \cdot \Delta_x} \quad (2.4)$$

Llavors, combinant les fórmules anteriors es pot demostrar que:

$$\Delta_x = \frac{2\pi}{N_x \cdot \Delta K_x} \quad (2.5)$$

I finalment, per a obtenir la longitud total de freqüència:

$$L_{Kx} = N_x \cdot \Delta K_x = N_x \cdot \frac{2\pi}{N_x \cdot \Delta_x} = \frac{2\pi}{\Delta_x} \quad (2.6)$$

Perquè totes aquestes operacions matemàtiques es puguin després incorporar al software Matlab "In cabin Wireless coverage" i aplicar la tècnica de propagació incremental explicada anteriorment, haurem incorporat diverses formes d'objectes per a poder demostrar i comparar quina radiació tenen cadascun

d'ells. En el següent apartat tindrem la simulació de dos objectes diferents (un quadrat i un cercle) i d'un camp elèctric sense obstacles, dels quals analitzarem què passa amb el camp elèctric i quines conseqüències tenen les ones de propagació, per a després treure les seves respectives conclusions.

2.3. Evolució dels camps radiats per una antena

La radiació d'una antena en un punt concret quan hi ha un obstacle que l'interfereix en comparació a quan es propaga sense cap obstacle pel mig és molt diferent. En els següents apartats simularem amb el software Matlab "In cabin Wireless coverage" l'efecte que pot arribar a tenir quan incorporem un obstacle tal i com hem comentat en els punts anterior mitjançant la tècnica de propagació incremental.

En totes les simulacions que mostrarem, hem tret l'efecte del terra ja que ens podria interferir negativament en el resultat. L'efecte del terra seria com tenir un mirall en l'objecte i com a conseqüència el que estaria fent és projectar el reflex i donant-nos una imatge equivocada. Mes endavant, quan tinguem incorporats altres objectes, en el nostre cas automòbils, sí que tindrem l'efecte del terra ja que aquells vehicles estaran tocant el terra i no ens interferiran en cap resultat. A continuació mostrarem les simulacions amb els següents paràmetres.

2.3.1. Sense obstacle

Un primer resultat de la tècnica de propagació incremental aplicada a un escenari sense obstacles i incorporant la font en un punt del pla vertical $x=128$ i del pla horitzontal $z=1$ sense l'efecte del terra es mostra a la **Figura 2.6**.

Podrem veure com la radiació es uniforme en tots els sentits de la propagació, ja que s'observaria clarament que cap objecte s'interfereix en el seu camí.

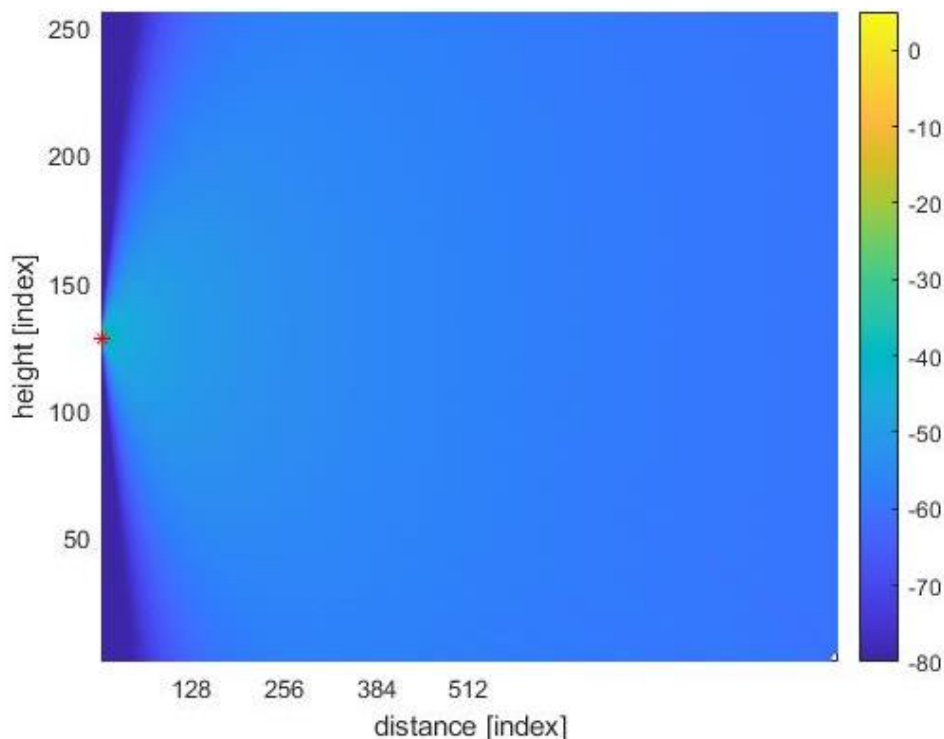


Figura 2.6 Antena radiant sense obstacle

2.3.2. Amb obstacle

En els següents casos, la font estarà col·locada en la mateixa posició que en el cas inicial, en concret l'eix vertical en $x=128$ i l'eix horitzontal en $z=1$. Hem incorporat un obstacle de forma quadrada (**Figura 2.7**) i un altre en forma de cercle (**Figura 2.8**), ja que quan incorporem un obstacle que interfereix en la propagació d'ona de l'antena, veurem que serà directe en la part de davant de l'objecte però insuficient en la part del darrere. Els dos obstacles seran de metall, sense deixar que passi cap raig d'il·luminació entre ells. En el cas que vulguem il·luminar a una persona que estigues en la part del darrera, veuríem que la radiació que li arribés seria poc intensa.

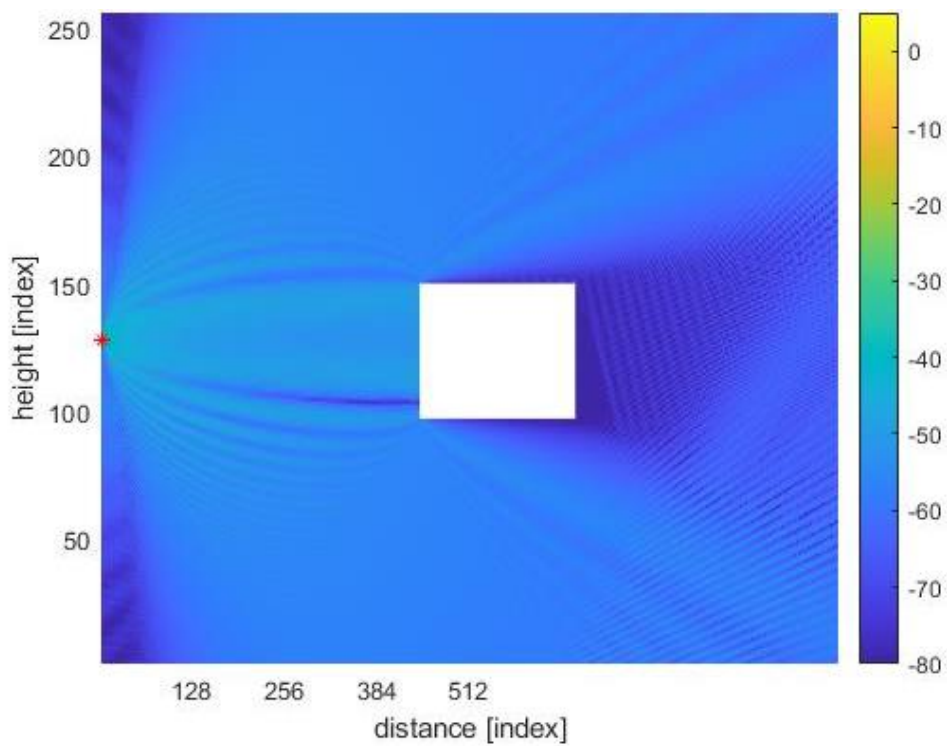


Figura 2.7 Antena radiant en obstacle quadrat

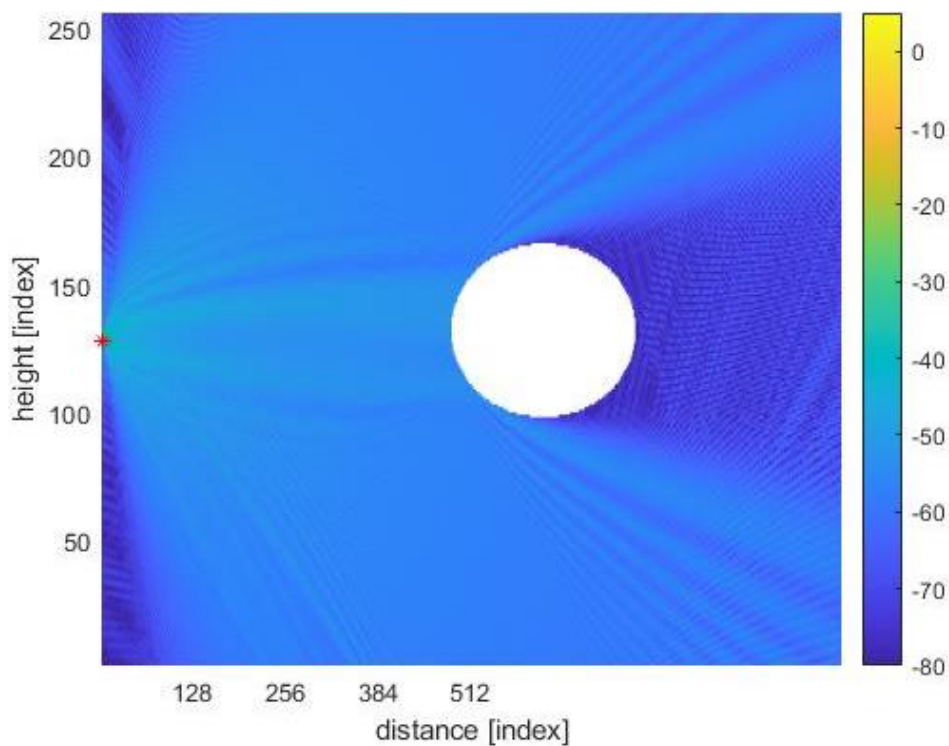


Figura 2.8 Antena radiant en obstacle rodó

Si comparem els dos objectes, el que té forma quadrada i en forma de cercle, podem veure com la geometria sí que afectaria en la radiació del camp elèctric. En el cas de la **Figura 2.8** podem observar com el feix d'il·luminació que deixa el rastre un cop ha xocat contra l'objecte es més ampli, fent que pugui arribar a il·luminar en un espai més extens. Tot lo contrari que la **Figura 2.7** la qual al tenir els vèrtex de les cantonades, fa que el feix es redueixi i no arribi tanta senyal.

2.3.3. En l'interior entre dos obstacle

En el moment que incorporem dos obstacles, el que voldrem transmetre i representar serà la "finalitat" del treball, en concret la cobertura interior en vehicles. En aquests dos casos, començarem per a simular dos objectes d'igual mida i després de diferents longituds, obviant, de moment, la incorporació d'algun vehicle.

En aquests dos primers escenaris, veurem com afecta la propagació d'ona d'una font situada en l'eix vertical en $x=128$ i l'eix horitzontal en $z=1$. En aquesta primera imatge, la **Figura 2.9** podem observar com l'efecte de la propagació d'ona entre mig dels dos objectes es millor que quan està en els extrems de cadascun dels objectes. Això és per causa de que l'ona impacta directament en l'interior d'aquests dos objectes i mitjançant tot el procés de la propagació incremental, fa que arribi al seu interior. En canvi, quan posem dos objectes amb diferents longituds, el que passa i podem veure és que la propagació d'ona es segueix transmetent en el llarg de l'objecte amb dimensions més llargues però en l'altre li sigui complicat arribar en la seva part del darrere.

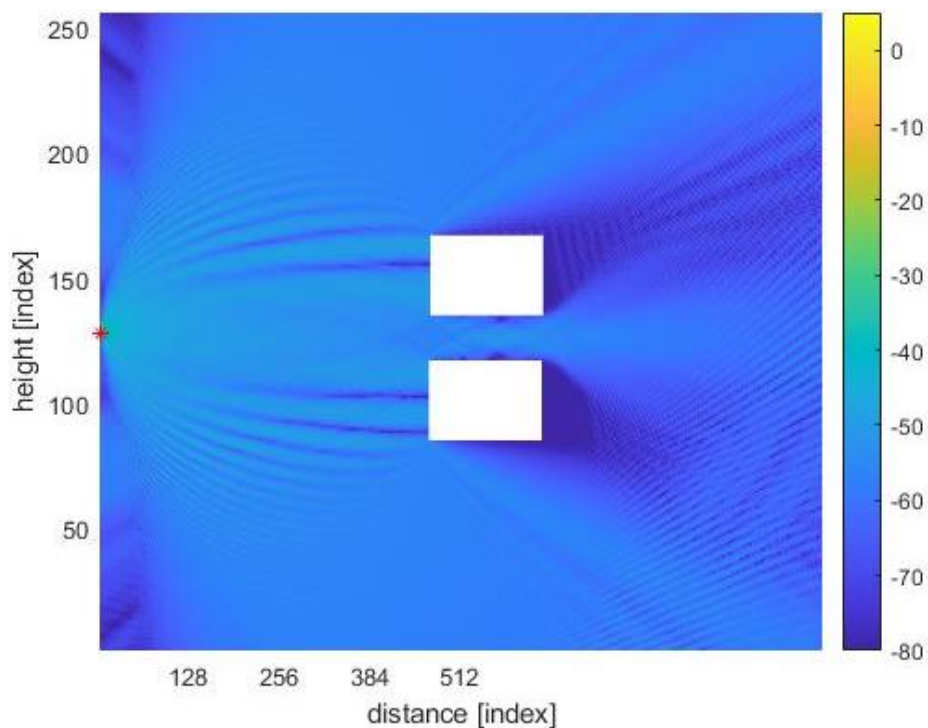


Figura 2.9 Antena radiant quan hi ha dos obstacles amb les mateixes dimensions

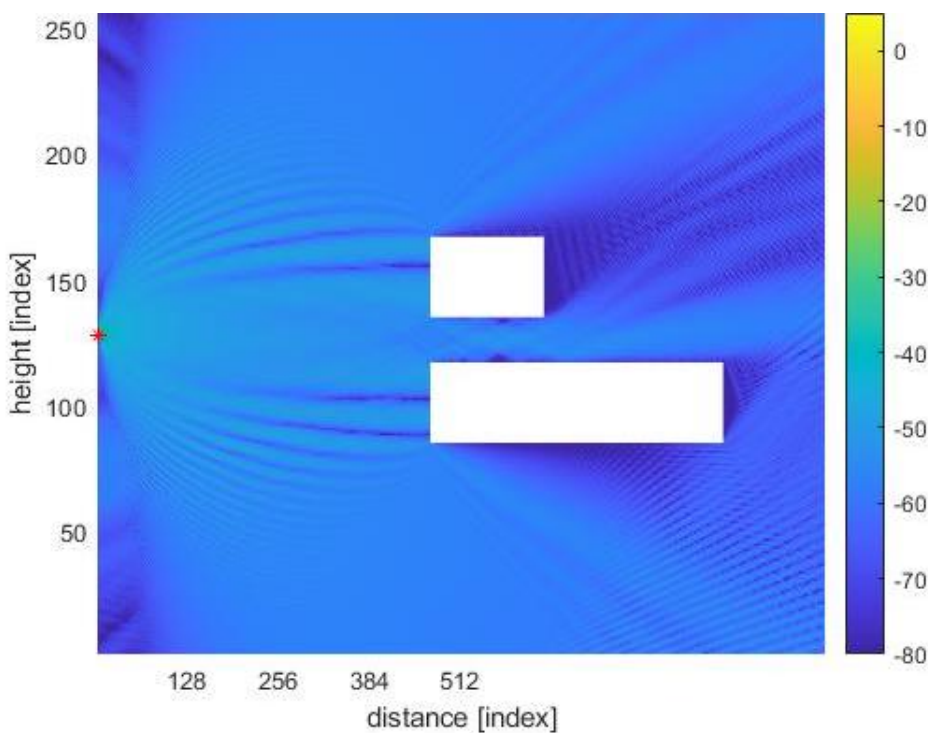


Figura 2.10 Antena radiant quan hi ha dos obstacles amb diferents longituds

Un cop hem vist com irradia l'antena quan està ubicada en el pla de les x i en l'origen del pla de les z , el que farem serà escollir els models dels vehicles per a després simular la cobertura que hi haurà dins seu i poder ubicar la font amb els diversos rangs de freqüències que treballarem de la millor manera i que cobreixi el major espai possible.

3. COBERTURES INTERIORS DE VEHICLES

En aquest capítol treballarem el procés per a dimensionar a escala els diferents models de vehicles que utilitzarem per a després incorporar la font al seu interior i analitzar la cobertura. Per a fer tot aquest procés, hem hagut de treballar en escala de píxels de blancs i negres amb el programa Microsoft Paint que més endavant nombrarem, per a després fer-ho servir amb l'eina "In cabin Wireless coverage" i fer les simulacions corresponents.

3.1. Diversos models de vehicles

Per a realitzar l'estudi de cobertura interior en un vehicle, hem triat diversos models per a veure l'efecte que produeixen les ones i como es propaga depenen de les dimensions, estructura dels seients, si hi ha passatgers o no, etc. Com ja s'ha esmentat, el programa triat per a fer aquestes simulacions és el software Matlab "In cabin Wireless coverage". Aquest software treballava per simular situacions outdoor, però això a nosaltres no ens interessaria. Llavors el que hem fet és adaptar l'eina per a que ens simules en situacions indoor i poder analitzar amb més precisió l'interior de cabina d'un vehicle..

Una de les coses a tenir en compte són les dimensions on es propagarà el senyal, és a dir, la mida total de l'espai analitzat. Per a facilitar les coses, amb l'eina Matlab "In cabin Wireless coverage" està el procés on converteix els metres en nombre de píxels tenint en compte les variacions temporals i de freqüència dels diferents eixos segons la direcció de propagació. Aquest programa també permet obtenir les mesures dels obstacles que s'incorporarien a les simulacions. Cal esmentar que totes les imatges que es realitzin són en 2D.

En els següents apartats, s'explicarà amb més detall els diversos models de vehicles que hem obtingut per a les diverses simulacions.

3.1.1. Autobús

Un dels vehicles que s'ha decidit agafar com a obstacle i analitzar l'interior és el d'un autobús ja que la seva complexitat i grandària pot donar-nos diversos efectes d'ona de propagació dins del seu interior.

Primerament s'ha agafat una imatge a color, tal i com es mostra a la **Figura 3.1** per a després processar-la a escala de bits.

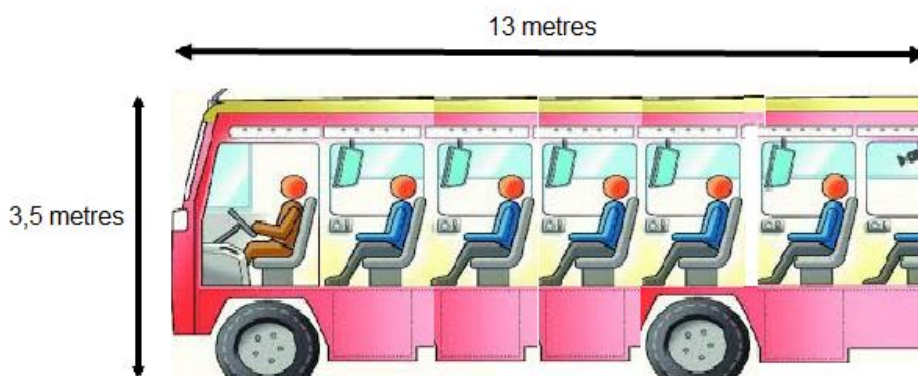


Figura 3.1 Autobús a escala en color

Per introduir la imatge que s'utilitzarà com a mapa d'obstacles, s'ha de construir amb el programa Microsoft Paint. El procediment és el següent: primer haurem d'especificar l'àrea de dibuix donant dimensions que tinguin una potència de 2, ja que la FFT treballa millor en aquest rang de potència.. Pel cas de l'autobús haurem agafat 768 punts horitzontals que correspon a l'eix z i 256 verticals, que corresponen a l'eix x. A la zona de treball es poden dibuixar algunes formes, ja siguin figures geomètriques o directament la silueta de l'automòbil. Aquest fitxer s'ha de convertir a escala de bits (blancs i negres) i desar-ho en format .bmp tal i com s'indica a la **Figura 3.2** per a poder funcionar correctament a l'eina Matlab "In cabin Wireless coverage".

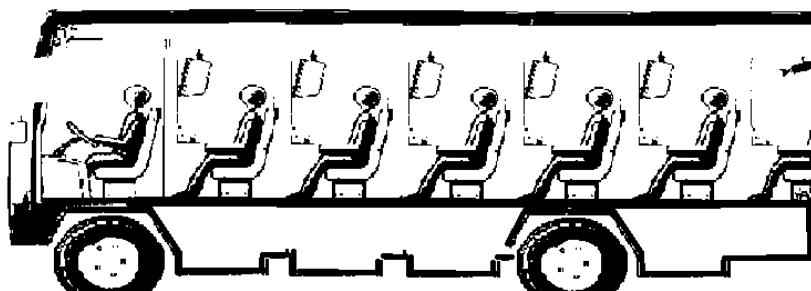


Figura 3.2 Autobús a escala de bits

A la **Figura 3.2** es pot apreciar que la silueta de l'autobús no és perfecta i que hi ha certs talls. És degut a que els cristalls de la part davantera i posterior han de deixar passar els raigs a l'interior del vehicle. L'àrea eliminada és proporcional ja que hi hauria un cristall; en cas contrari, es consideraria que tota la part davantera i posterior de l'autobús és metàl·lica i no deixa passar cap raig.

Per a cada freqüència en la que treballarem, s'han realitzat diversos càlculs que ara descriurem per a treballar en l'escala adequada i poder visualitzar l'interior del vehicle amb suficient claredat:

- Paràmetres fixos:
 - Nombre de punts verticals: $NO_x = 256$
 - Nombre de punts horitzontals: $N_z = 768$

- Paràmetres variants:
 - Freqüència: f
 - Longitud d'ona: $\lambda = \frac{c}{f}$; on $c = 3 \cdot 10^8$ m/s
 - dx : diferencial de x depenent de la longitud d'ona
 - dz : diferencial de z depenent de la longitud d'ona
 - Longitud total en l'eix vertical: $x = NO_x \cdot dx$
 - Longitud total en l'eix horitzontal: $z = N_z \cdot dz$

D'aquesta manera ja tindrem tots els paràmetres per a poder posicionar l'autobús en una posició on poder analitzar la propagació d'ona dins de l'autobús. En la següent taula es posaran tots els valors corresponents a les diferents freqüències de treball:

Taula 3.1. Valors a escala de píxels per a l'autobús en cada freqüència

Freqüència (GHz)	2	3.6	5.9	24
Longitud d'ona (m)	0.15	0,083	0,05	0,012
d_x (m)	$\frac{\lambda}{8} = 0,019$	$\frac{\lambda}{4} = 0,021$	$0,4 \cdot \lambda = 0,02$	$1,25 \cdot \lambda = 0,015$
d_z (m)	$\frac{\lambda}{8} = 0,019$	$\frac{\lambda}{4} = 0,021$	$0,4 \cdot \lambda = 0,02$	$1,25 \cdot \lambda = 0,015$
x (m)	4,86	5,38	5,12	3,84
z (m)	14,60	16,13	15,36	11,52

A continuació haurem de fer el mateix procediment per a l'automòbil ja que després dissenyarem i comentarem la posició òptima de l'antena.

3.1.2. Automòbil

En l'apartat de l'automòbil, analitzarem tres models diferents ja que així podem comparar en quin hi hauria millor cobertura en el seu interior. Hem escollit dos models els quals els veiem des de un lateral per a així poder veure tot l'interior de la cabina i un altre model vist des de dalt per a així tenir una visió diferent als anteriors i comparar com afectaria la propagació de cobertura del senyal. En el model vist des de dalt, hem deixat un passatger i els tres seients restants buits, així veuríem l'impacte que provoca el senyal en cada una de les posicions. En els altres dos models restants, en un d'ells no hi hauran passatgers i en l'altre hi hauran les dos opcions: amb passatgers i sense passatgers. La finalitat de treure els passatgers és la d'observar quin comportament hi podrien tenir les persones dins de l'automòbil, diferenciar si hi arriba més senyal quan hi són que quan no, posar en relleu si la tapisseria del vehicle hi pot influir i, així amb diversos aspectes que ja anirem comentant i comparant.

L'automòbil de la **Figura 3.3** estaria ocupat per dos passatgers, mentre que els automòbils de les **Figures 3.4** i **3.5** estarien ocupats per un total de quatre passatgers.

Per a convertir la imatge de l'automòbil a escala de blancs i negres, ens hem basat en el mateix procediment descrit anteriorment, el de l'autobús. Primerament agafarem una imatge per a després poder-la convertir a escala de bits.



Figura 3.3 Automòbil biplaça vist lateralment a escala en color [11]



Figura 3.4 Automòbil quatre places vist lateralment a escala en color [12]

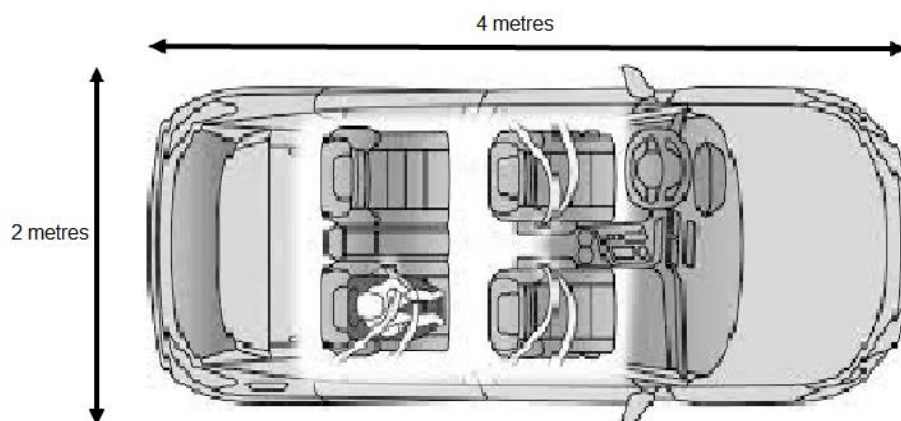


Figura 3.5 Automòbil quatre places vist de de d'alt a escala en color [13]

Les dues primeres imatges són de dos automòbils moderns (**Figura 3.3** i **Figura 3.4**) i l'última imatge (**Figura 3.5**) és la d'un automòbil convencional. En totes tres figures es pot veure perfectament l'interior dels vehicles per a després poder ser analitzades. A continuació haurem d'especificar l'àrea de dibuix donant dimensions que tinguin una potència de 2, tal i com s'ha fet anteriorment amb l'autobús. En aquest cas dels tres automòbils, haurem agafat 512 punts horitzontals que correspon a l'eix z i 256 punts verticals, que corresponen a l'eix x. Aquest fitxer s'ha de convertir a escala de bits i s'ha desat en format .bmp com hem comentat anteriorment. En les **Figures 3.6** i **3.7** es pot apreciar que en una d'elles hem tret els passatgers per a després fer un anàlisi i comparar-la amb la que sí que en té.



Figura 3.6 Automòbil biplaça amb passatgers a escala de bits



Figura 3.7 Automòbil biplaça sense passatgers a escala de bits



Figura 3.8 Automòbil de quatre places vist lateralment a escala de bits

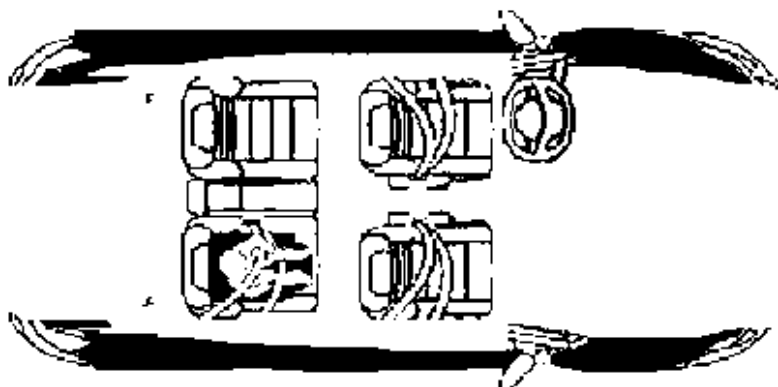


Figura 3.9 Automòbil de quatre places vist des de dalt a escala de bits

Igual que en la figura de l'autobús, els quatre automòbils tindran certs talls en la part davantera i posterior, ja que es degut a que els cristalls han de deixar passar els raigs a l'interior de l'automòbil. L'àrea eliminada és proporcional ja que hi hauria un cristall; en cas contrari, es consideraria que tota la part davantera i posterior de l'automòbil és metàl·lica i no deixa passar cap raig.

Per a cada freqüència en la que treballarem, s'han realitzat diversos càlculs que ara descriurem per a treballar en l'escala adequada i poder visualitzar l'interior del vehicle amb suficient claredat:

- Paràmetres fixos:
 - Nombre de punts verticals: $NO_x = 256$
 - Nombre de punts horitzontals: $N_z = 512$
- Paràmetres variants:
 - Freqüència: f
 - Longitud d'ona: $\lambda = \frac{c}{f}$; on $c = 3 \cdot 10^8$ m/s
 - dx : diferencial de x depenent de la longitud d'ona
 - dz : diferencial de z depenent de la longitud d'ona
 - Longitud total en l'eix vertical: $x = NO_x \cdot dx$
 - Longitud total en l'eix horitzontal: $z = N_z \cdot dz$

D'aquesta manera ja tindrem tots els paràmetres per a poder posicionar l'automòbil en una posició on poder analitzar la propagació d'ona dins de l'automòbil. En la següent taula es posaran tots els valors corresponents a les diferents freqüències de treball:

Taula 3.2. Valors a escala de píxels per a l'automòbil en cada freqüència

Freqüència (GHz)	2	3.6	5.9	24
Longitud d'ona (m)	0.15	0,083	0,05	0,012
dx (m)	$\frac{\lambda}{16} = 0,009$	$\frac{\lambda}{8} = 0,010$	$0,2 \cdot \lambda = 0,01$	$0,5 \cdot \lambda = 0,006$
dz (m)	$\frac{\lambda}{16} = 0,009$	$\frac{\lambda}{8} = 0,010$	$0,2 \cdot \lambda = 0,01$	$0,5 \cdot \lambda = 0,006$
x (m)	2,3	2,66	2,56	1,53
z (m)	4,6	5,31	5,12	3,07

Ara que ja tenim tots els models en forma de píxels per a cada vehicle i per a cada freqüència de treball, tan per a l'autobús com per a l'automòbil, el següent pas serà dissenyar la posició òptima de la font perquè en l'interior del vehicle es puguin veure la propagació d'ona en les diferents freqüències per a després poder ser analitzades.

3.2. Disseny de la posició òptima de la font

En aquest treball, treballarem les cobertures en l'interior dels diversos models de vehicles, comentats en l'apartat anterior, per a diverses escales de freqüència (2 GHz, 3.6 GHz, 5.9 GHz i 24 GHz). En totes aquestes simulacions que farem, haurem de trobar quina seria la posició òptima de la font o si faria falta col·locar-ne més d'una per a donar cobertura o si en posar-la a l'exterior del vehicle ja seria suficient perquè arribes la cobertura, etc. La finalitat és veure quin impacte tindria col·locar-ne la font en un lloc o en un altre per a després cobrir en major part l'interior del vehicle i que a tots els passatgers els hi arribes cobertura del senyal.

Per a poder trobar el disseny òptim de l'antena, ens basarem en dos casos: que estigui posicionada al davant o darrera del vehicle o que estigui posicionada justament en el mig del vehicle.

Quan hem escollit el disseny de la nostra font perquè estigui en el interior del vehicle, hem hagut d treballar amb el software Matlab "In cabin Wireless coverage" i escollir el punt on volem posar-la. A continuació tindrem, com exemple del que s'ha fet servir, unes petites línies de codi:

```
%%Posició de la font
N_x_font=220; % Alçada de la font
N_z_font=340;%Posició horitzontal de la font

Einit=zeros(Nx,N_z_font);
Einit(Nx/2+N_x_font:Nx/2+N_x_font+1,N_z_font)=1.0; %Posició de la font
alçada x de N_x_font i distancia z de N_z_font
```

```

Einit(Nx/2-N_x_font-1:Nx/2-N_x_font,N_z_font)=0.0; % for not effect of
the ground
%Einit(Nx/2-N_x_font-1:Nx/2-N_x_font,N_z_font)=1.0; % for perfect
electrical conductor
%Einit(Nx/2-N_x_font-1:Nx/2-N_x_font,N_z_font)=-0.424+0.034j; %for
real ground Eps(6GHz)= 6-1j%Posició de la font alçada x de N_x_font i
distancia z de N_z_font
Es=Einit(:,N_z_font)';
MEs(:,1)=Einit(:,N_z_font)';

```

El codi utilitzat es més extens ja que l'original parlava de les cobertures en l'exterior i com afectaven aquestes al vehicle i nosaltres l'hem adaptat al nostre cas, en el que volem cobrir les cobertures interiors dels vehicles. Per a fer una petita aproximació del que vol dir aquest codi, ens haurem de fixar en la part de la posició de la font ja que serà el lloc on l'anirem movent per a trobar la posició òptima per a transmetre.

3.2.1. Font variable

Una antena és un element radiant, que emet el senyal que li injecta l'etapa final de qualsevol aparell de ràdio, d'ella depèn que el senyal arribi fins on es té previst amb el major nivell i qualitat que sigui possible. [14]

La raó del per què utilitzem fonts variables és la de poder fer servir un patró de radiació que pot ser unidireccional o bidireccional. Han estat per a optimitzar en la major part el vehicle i que tots els ocupants els hi arribi cobertura en el seu interior. La monitorització en l'interior del vehicle és un aspecte a destacar i per això hem de trobar la major cobertura ja que, saber si quan hi ha ocupants és més vulnerable o fins i tot, poder conèixer si la tapissaria afectaria a la propagació del senyal. A continuació parlarem dels diversos models dels quals treballarem, ja sigui una antena bidireccional, la qual emet en dues direccions (en el nostre cas endavant i endarrere) i d'una antena unidireccional, que orienta el senyal en una única direcció determinada.

3.2.1.1. Antena unidireccional

Aquesta antena orienta el senyal en una direcció determinada amb un feix estret, de llarg abast i de forma intensa i és capaç d'enfocar tot el senyal que li aplica la targeta o punt d'accés en una direcció concreta, amb més o menys grau de directivitat en funció del model i característiques. Normalment aquesta antena es fa servir per donar una certa cobertura (baixa directivitat) a establir enllaços (alta directivitat) punt a punt o per a enllaçar amb un node que tingui una antena omnidireccional. Dins de la gamma d'antenes direccionals, hi ha també diversos models i formes, cadascuna amb un ús concret. [16]

3.2.1.2. *Antena bidireccional*

Aquesta antena és capaç d'emetre el senyal en dues direccions (endavant, endarrere) amb un feix ampli però de curt abast. Aquesta antena envia la informació teòricament als 360°, de manera que és possible establir comunicació independentment del punt en què s'estigui. L'abast d'una antena bidireccional ve determinat per una combinació dels dBi de guany de l'antena, la potència d'emissió del punt d'accés emissor i la sensibilitat de recepció del punt d'accés receptor. [15]

4. RESULTATS

En aquest apartat, mostrarem les simulacions que hem obtingut amb el software Matlab "In cabin Wireless coverage" quan es propaga el senyal en l'interior d'un vehicle.

Totes les simulacions obtingudes es consideraran que són aproximades ja que s'ha treballat en un entorn aproximat ja que estem considerant només un tall central en totes les imatges, mentre que en la propagació del camp electromagnètic en la vida real es faria a través de les diverses seccions que hi ha. Això es degut a que es considera una imatge plana en comptes de una imatge volumètrica.

Els vehicles seran els presentats en l'apartat 3.1 i la posició de la font estarà ubicada en dos escenaris diferents: una primera posició serà quan l'antena irradia just davant de l'interior del vehicle i l'altre escenari serà quan irradia en mig de l'interior del vehicle. Per aquests dos escenaris, treballarem en quatre marges de freqüències diferents: 2 GHz, 3.6 GHz, 5.9 GHz i 24 GHz.

S'ha treballat a una escala de colors que comença en el groc pel valor de 0 dB ja que el que volem veure amb claredat és com la cobertura cobreix els interiors dels vehicles. En alguns casos haurem treballat en un marge dinàmic de -60 dB fins a -90 dB per així veure amb més precisió i color les ones electromagnètiques que es propaguen en l'interior del vehicle. Per la resta de casos s'ha treballat a una escala que va de 0 fins a -70dB per a les freqüències de 2 GHz i 3.6 GHz i de 0 fins a -80 dB en les freqüències de 5.9 GHz i 24 GHz, ja que realment els mòbils i els sistemes de comunicació el seu marge dinàmic que poden arribar a tenir és aquest i si ho simuléssim a escales encara més petites ens donarien uns resultats amb una falsa impressió del que realment passa en l'interior dels vehicles.

En cada rang de freqüències es trauran unes breus conclusions dels aspectes positius i negatius que presenta treballar en aquella freqüència, ja que així ens servirà per a després poder fer una conclusió més generalitzada.

Per a acabar farem una breu comparativa entre els resultats obtinguts en les freqüències baixes i les freqüències altes.

4.1. A freqüències baixes: 2 GHz

4.1.1. Cobertures interior vehicle

4.1.1.1. Antena radiant al davant del vehicle

En aquesta primera simulació l'antena està ubicada just a dalt del seient del passatger i apuntant en una única direcció (unidireccional poc directiva) en l'eix de les z positives. Es pot comprovar com la cobertura radiaria a les dues persones que estan ubicades en l'interior del vehicle, donant així un bon senyal. És cert que només veuríem com cobreix la part on són els passatgers, però al final el que és vol i es necessita és cobrir la zona on es realitzaran totes les tasques.

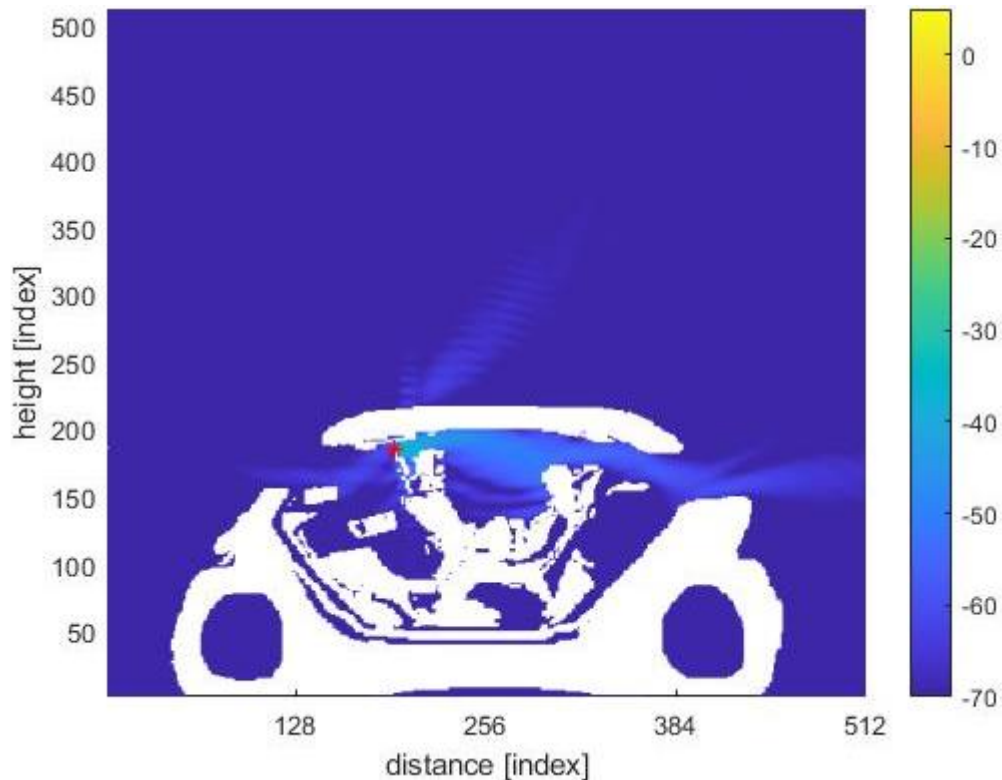


Figura 4.1 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

En aquesta simulació, hem suprimit els passatgers i tots els elements que ens podien interferir per analitzar la cobertura inalàmbrica en el seu interior. En concret hem tret els seients per així no tenir cap objecte material que el senyal pugui veure afectat. Podem observar com el senyal arribaria a totes i cada una de les posicions on hi estarien els passatgers, fent així una bona cobertura en l'interior del vehicle.

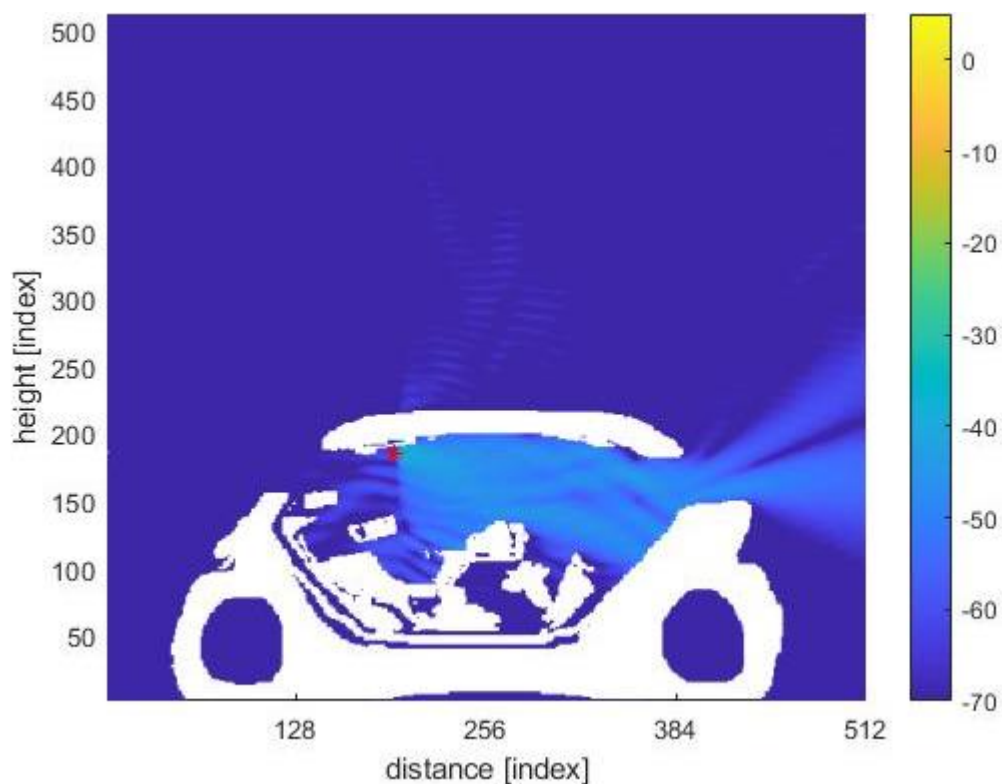


Figura 4.2 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

En la simulació de l'automòbil de quatre places, el qual no hi ha passatgers però si tenim els seients posats, podem observar com el senyal passa per dintre del vehicle però sense arribar a cobrir a la majoria dels seients ja que, al estar fet d'un element material, es veuen afectats per la cobertura del senyal.

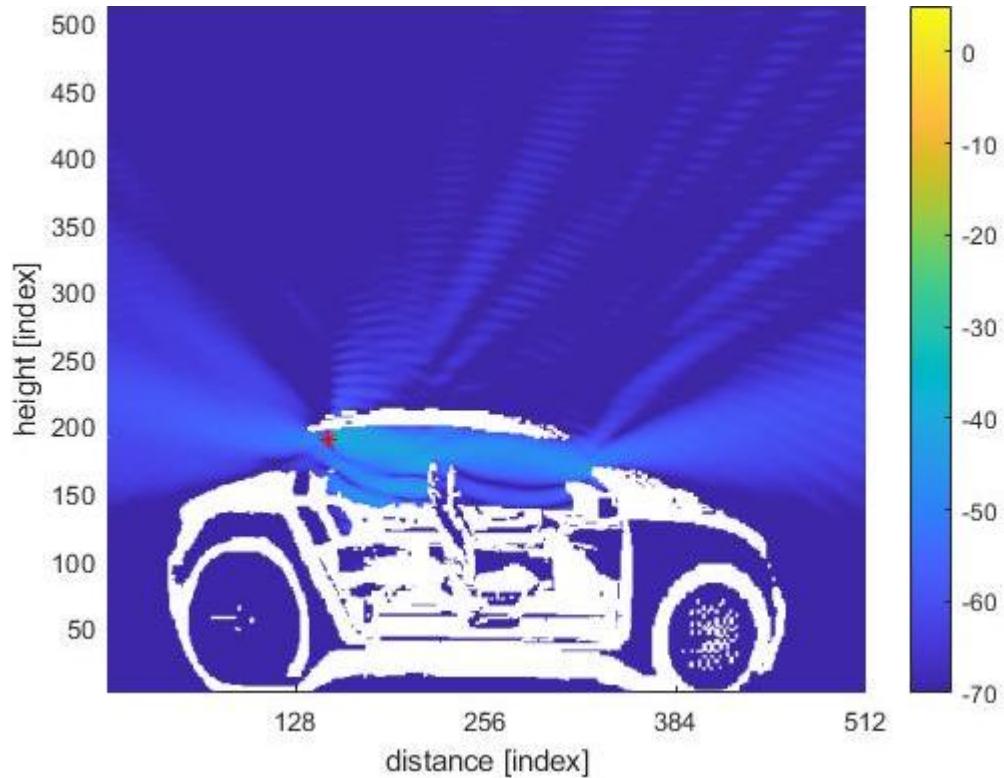


Figura 4.3 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

En aquesta simulació, on tenim la font just darrera del pilot i hi ha cinc passatgers més a l'interior del vehicle, en concret un autobús, podem observar com la radiació del senyal que arriba al primer passatger és molt bona, però a mesura que ens anem allunyant, la intensitat del senyal en els passatgers del final de l'autobús es menor. Cal destacar que la posició de la font i, sobre tot, el tipus d'antena que és, fa que al pilot no li arribi el mateix senyal que al primer passatger, encara que estiguin molt a prop en quan a ubicació.

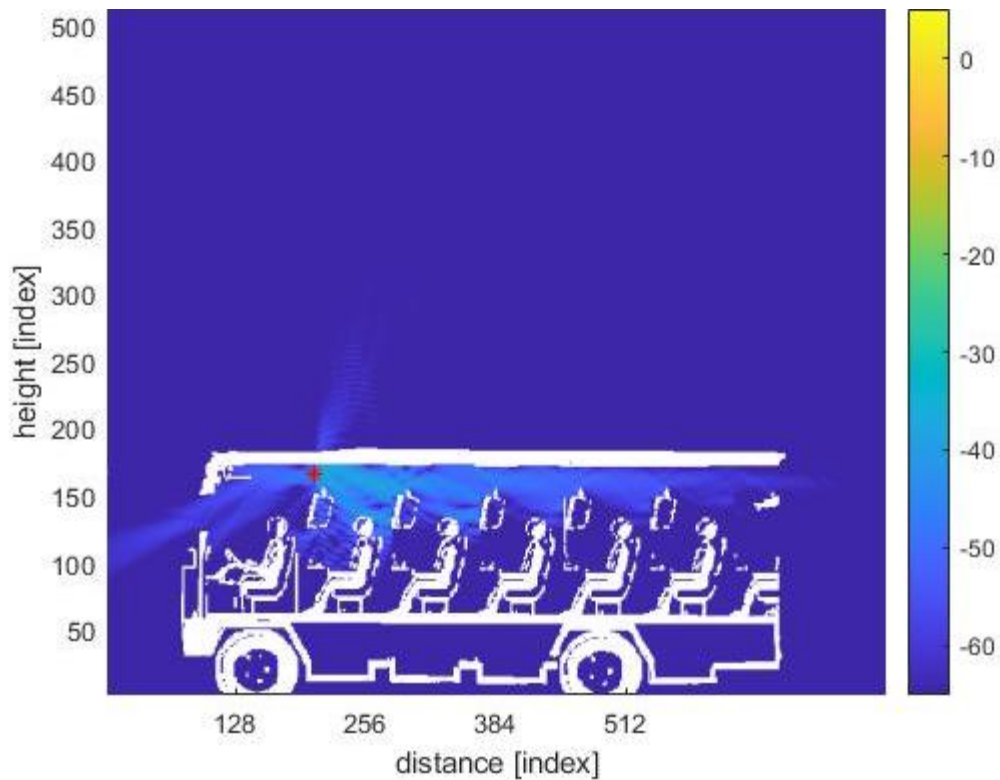


Figura 4.4 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en autobús amb passatgers

En aquesta simulació, hem volgut representar la situació vista des d'una perspectiva superior del vehicle. La font estaria ubicada just al sostre de davant del vehicle, al costat del volant per a així poder donar una cobertura a tots els passatgers. Es pot observar com el senyal arribaria fins als dos passatgers que estan més allunyats respecte la ubicació de la font, però no seria tan intens com els dos primers passatgers que els hi arriba directe. Podem dir que la ubicació de la font seria millorable en quan a conceptes de cobertura del senyal.

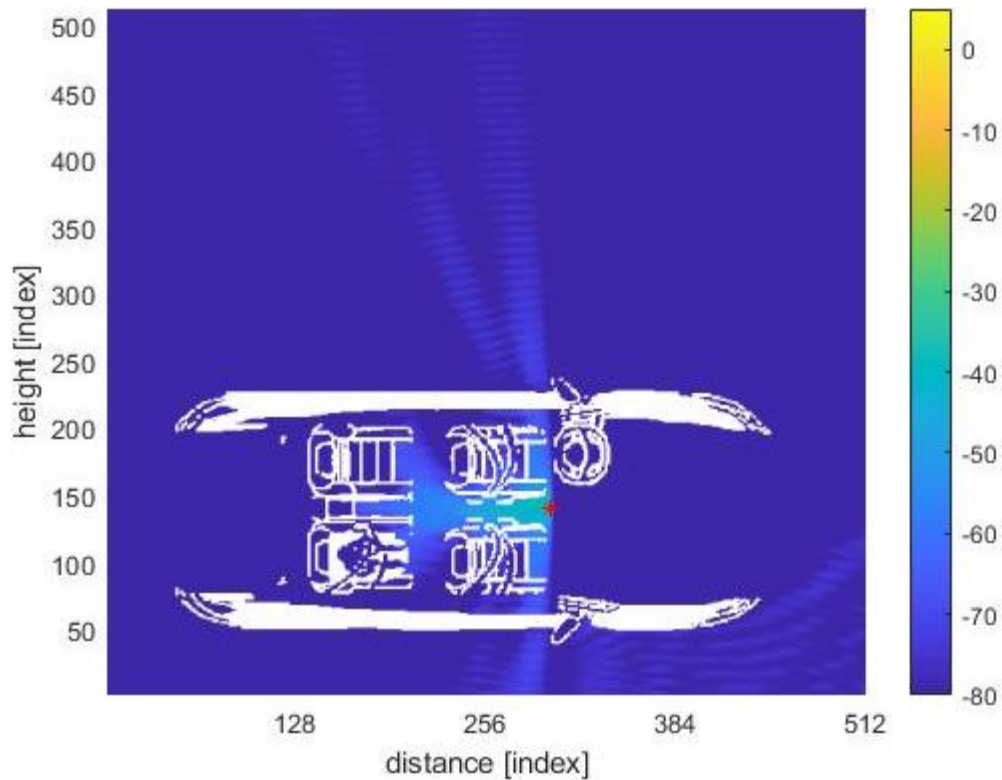


Figura 4.5 Antena unidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

4.1.1.2. Antena radiant al mig del vehicle

En aquest apartat, volem simular la radiació d'una antena bidireccional, la qual la col·locarem en el centre del interior del vehicle per a així poder visualitzar la radiació de cobertura que provocaria.

En aquesta primera simulació amb passatgers en el seu interior, podem visualitzar com els raigs es distribueixen en tot l'interior del vehicle, fent que els dos passatgers que hi són dins tinguin una cobertura excel·lent. La radiació traspasa menys als passatgers i a la tapisseria dels seients, per la qual cosa en zones del darrera dels seients serà complicat que hi arribi.

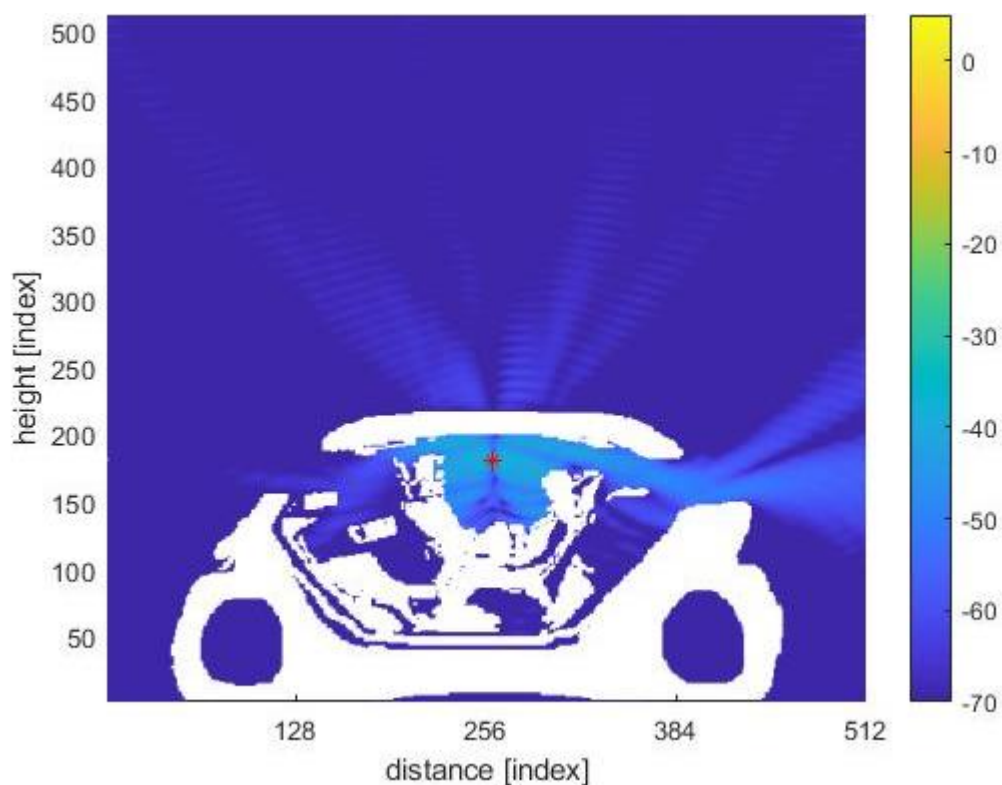


Figura 4.6 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

En la següent simulació, on ja hem tret els passatgers i tots els elements materials que hi pot haver en l'interior del vehicle, més concretament els seients, es pot observar com la cobertura es totalitària pel que fa al seu interior, arribant a cobrir totes les parts del vehicle. Podríem dir que una antena situada al mig del vehicle seria més eficaç en quan a cobertures del senyal, en relació a un altre posició.

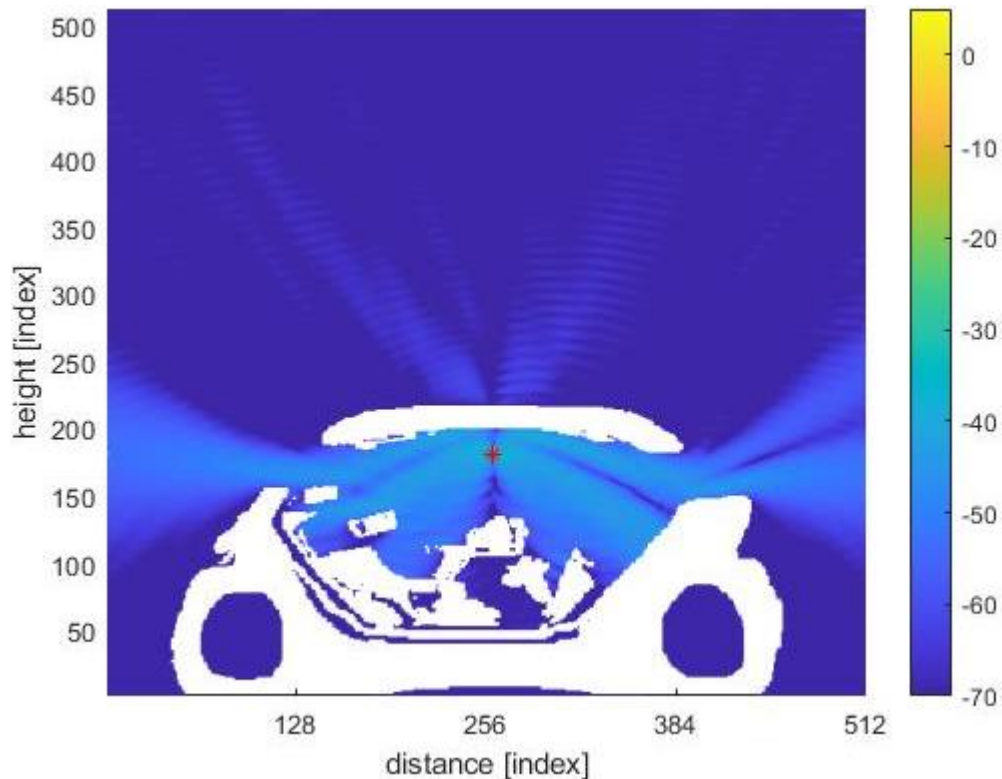


Figura 4.7 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

L'antena ubicada en el centre d'aquest model de vehicle ens donaria una cobertura molt bona. Ho podem veure pel fet de com entren els raigs dintre del vehicle del quals ens donaria una certa eficàcia en quan a cobertura.

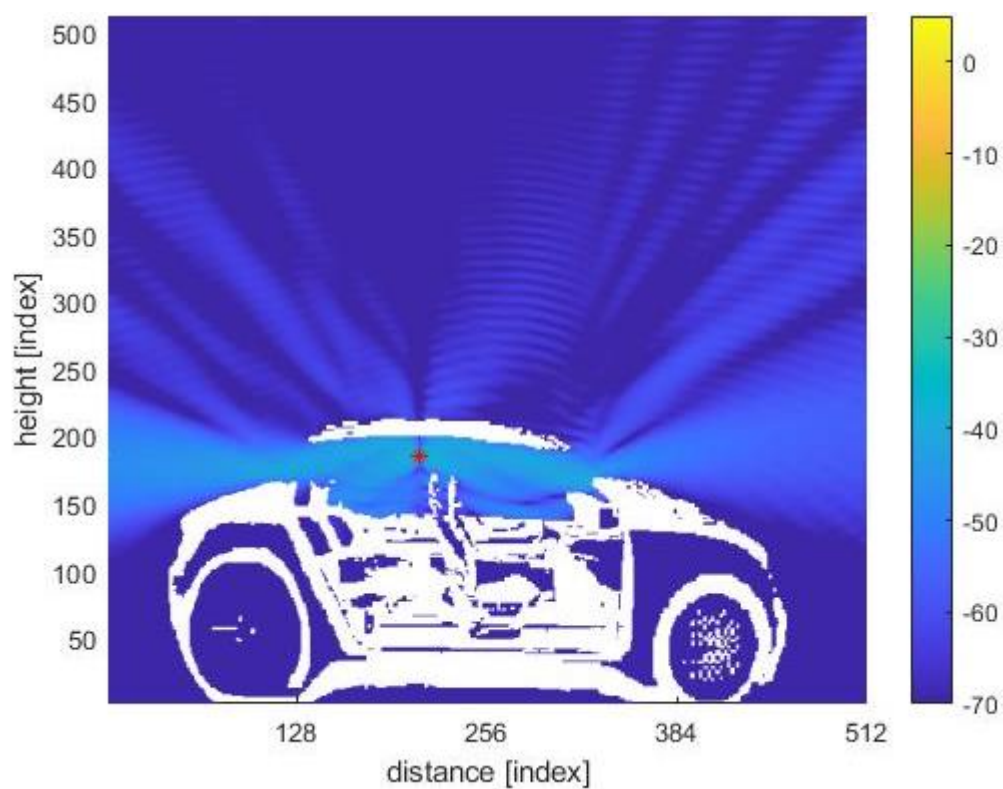


Figura 4.8 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

Pel que fa a la ubicació de l'antena en l'autobús, podrem diferenciar que a la persona que està posicionada sota la font, li arriba una cobertura perfecte, però a la resta dels passatgers costaria una mica més que els hi arribés. Direm que, encara que no cobreixi a tots els passatgers per igual, serà una bona cobertura del senyal, ja que serien poques les mancances que tindrien els passatgers ubicats al final del vehicle.

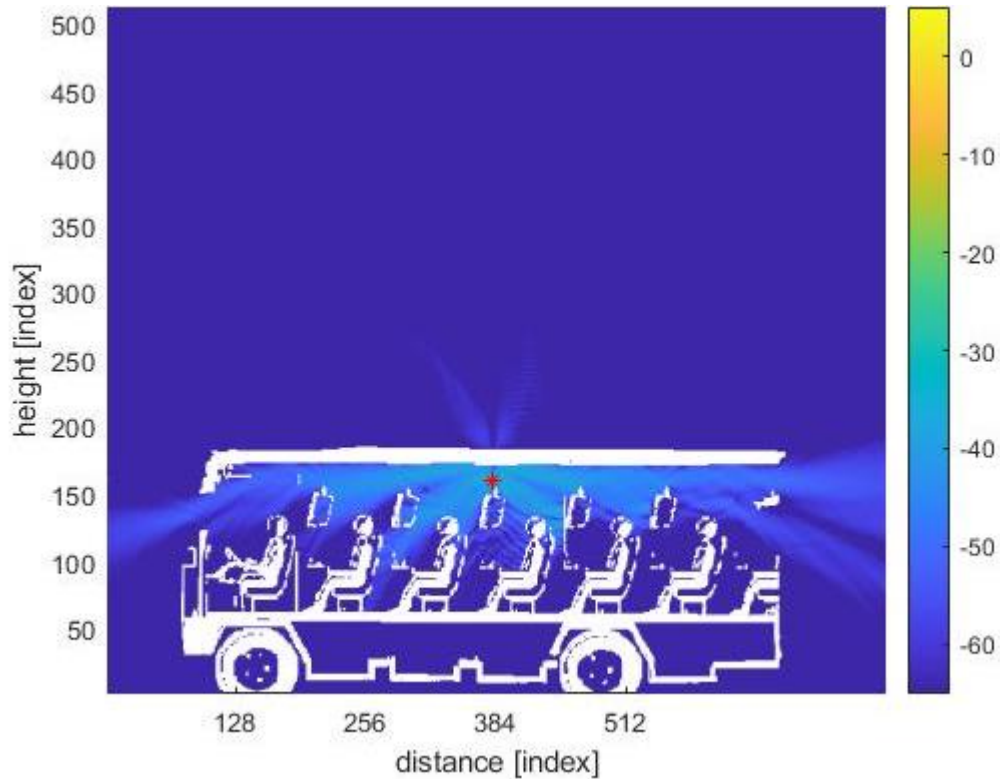


Figura 4.9 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en autobús amb passatgers

En la següent figura, tornem a veure la simulació vista des de dalt i podem observar com cobreix a tots els passatgers ja que font esta ubicada just al centre del vehicle. En la part de davant podem veure com entrarien els raigs per l'efecte de no tenir el vidre, però en la part del darrere veiem com no s'escapa ja que entre els dos seients del darrera i hauria un material, semblant a un suport per a deixar ampolles, que fa que les ones no traspassin, mentre que a les parts laterals semblaria com si la cobertura s'escapés, però seria per l'efecte de que pot haver alguna ranura oberta en la carrosseria dels laterals.

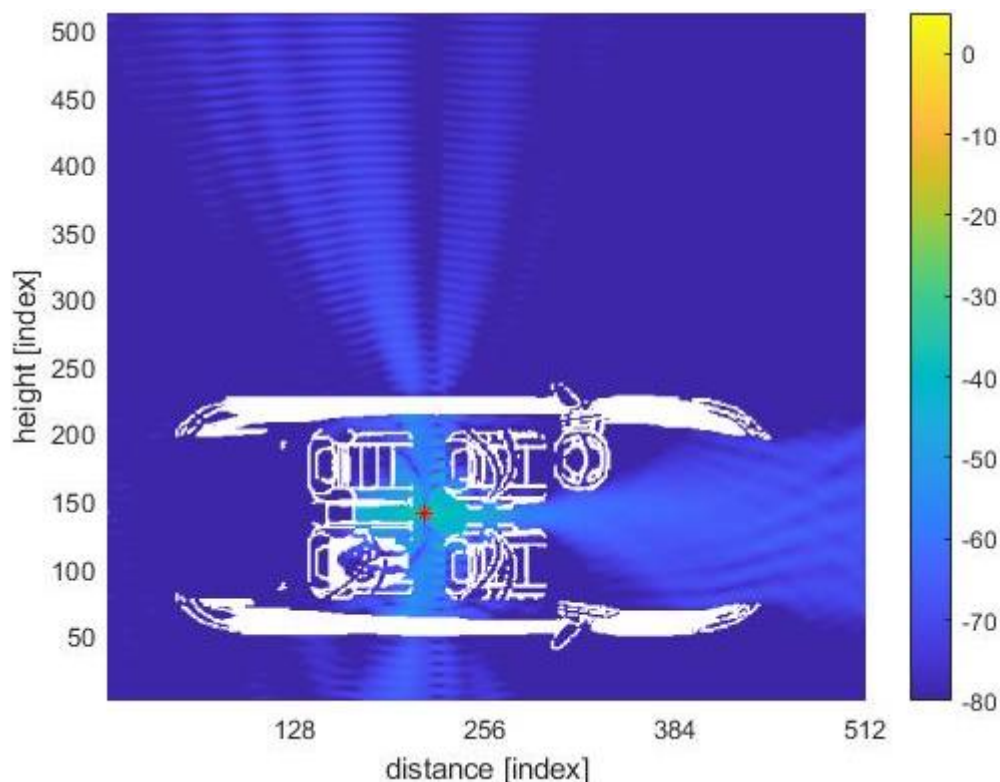


Figura 4.10 Antena bidireccional a freqüència de 2 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

4.1.2. Aspectes a destacar en la cobertura

En les simulacions que hem obtingut a freqüències baixes, en concret a 2 GHz, podem extreure algunes conclusions positives que a continuació nombrarem:

- La cobertura inalàmbrica en l'interior dels vehicles serà molt bona utilitzant la font en les dues posicions nombrades (unidireccional i bidireccional). Si ens haguéssim de quedar amb alguna de les dues, ens quedariem amb la font col·locada al mig: antena bidireccional.

- La cobertura en relació quan hi ha passatgers en vers a quan no hi ha es diferencial, ja que serà més neta quan no hi ha passatgers, però cobrint totes les necessitats en el moment que hi incorporem.

- Quan incorporem molts passatgers, en el nostre cas l'autobús, la cobertura arribaria fins a tots de manera gradual, ja que els que estan més a prop de l'antena tindran una millor cobertura que els que estan més allunyats d'ella.

4.2. A freqüències inter mitges: 3.6 GHz i 5.9 GHz

4.2.1. Cobertures interior vehicle

4.2.1.1. 3.6 GHz i 5.9 GHz: Antena radiant al davant del vehicle

En aquest apartat, treballarem a freqüències inter mitges, concretament a 3.6 i 5.9 GHz. És un marge on els resultats que mostrarem ens poden semblar idèntics, però hi haurà detalls que més endavant comentarem. Hem volgut ajuntar aquests dos rangs de freqüències per a després fer una comparativa més exhaustiva.

Pel que hem vist anteriorment, en l'apartat de freqüències baixes, la posició de la font i el rang de freqüències pot influir en la cobertura inalàmbrica en l'interior del vehicle. A continuació, en aquestes primeres dues simulacions, es pot observar com la cobertura interior en el vehicle per a les dues persones que tenim assegudes, serà pràcticament la mateixa. Cal destacar, però que al treballar a 3.6 GHz veiem que el senyal pot arribar a cobrir en la seva totalitat la zona de davant del vehicle, mentre que en el rang dels 5.9 GHz ja li costa més arribar a certes parts de l'automòbil.

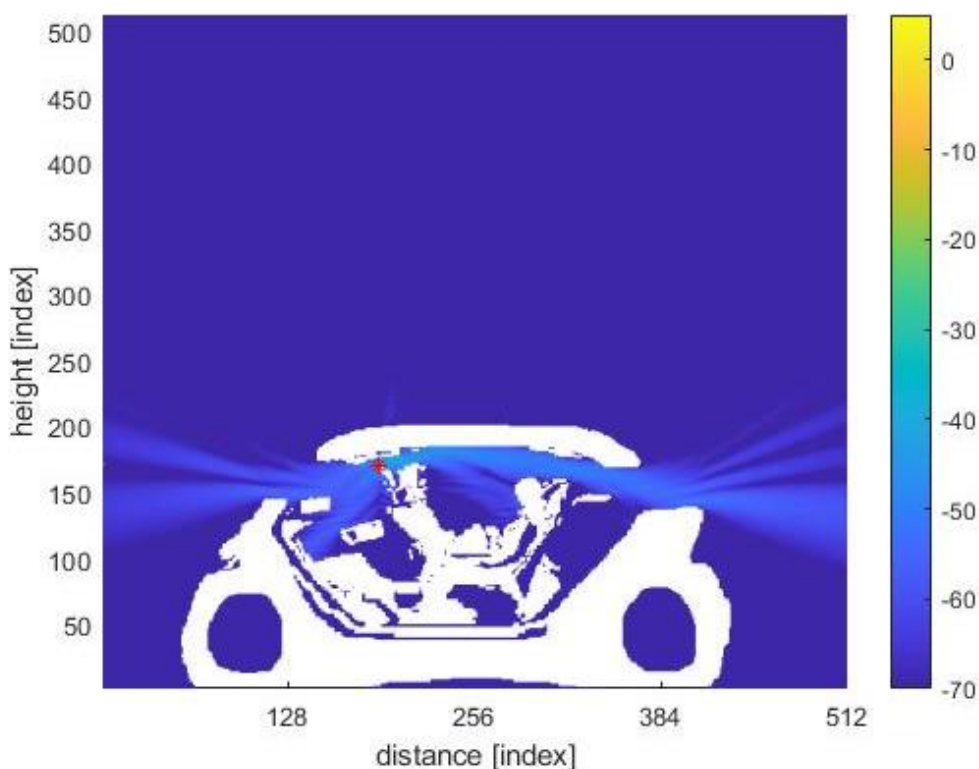


Figura 4.11 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

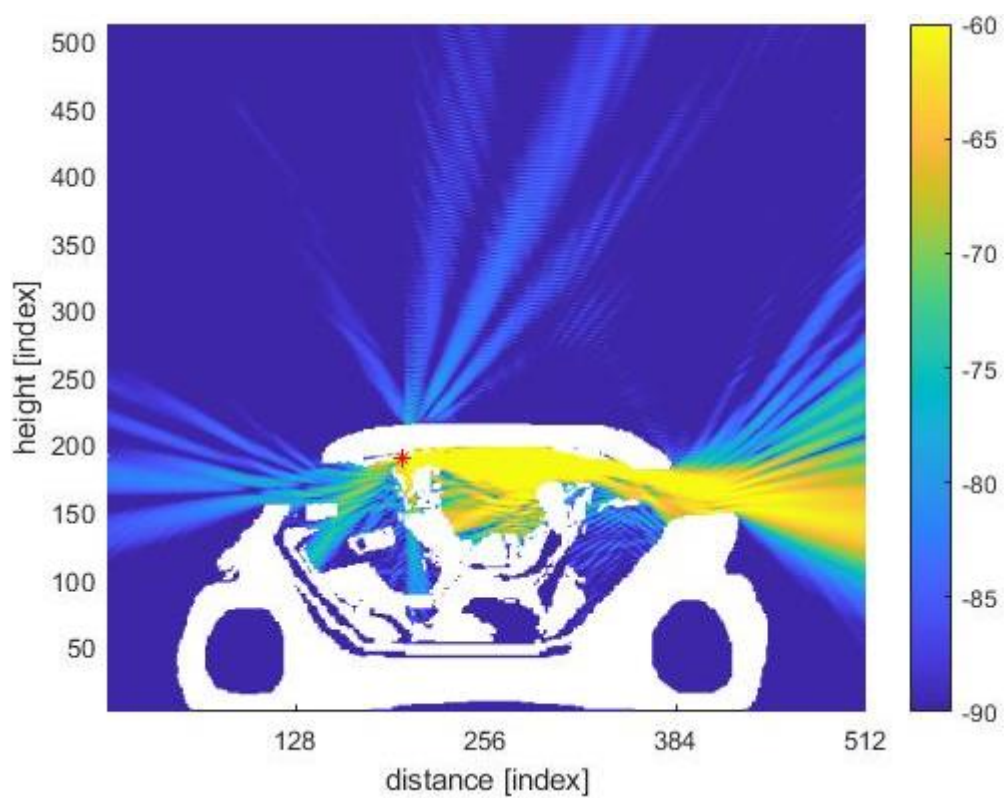


Figura 4.12 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

En les següents figures, podem observar la simulació quan hem tret a tots els ocupants de l'interior del vehicle i, per tant, sense cap obstacle que hi hagi dins. S'observa que el els dos rangs de freqüències dels que treballem, s'aprecia una cobertura nítida i acceptable.

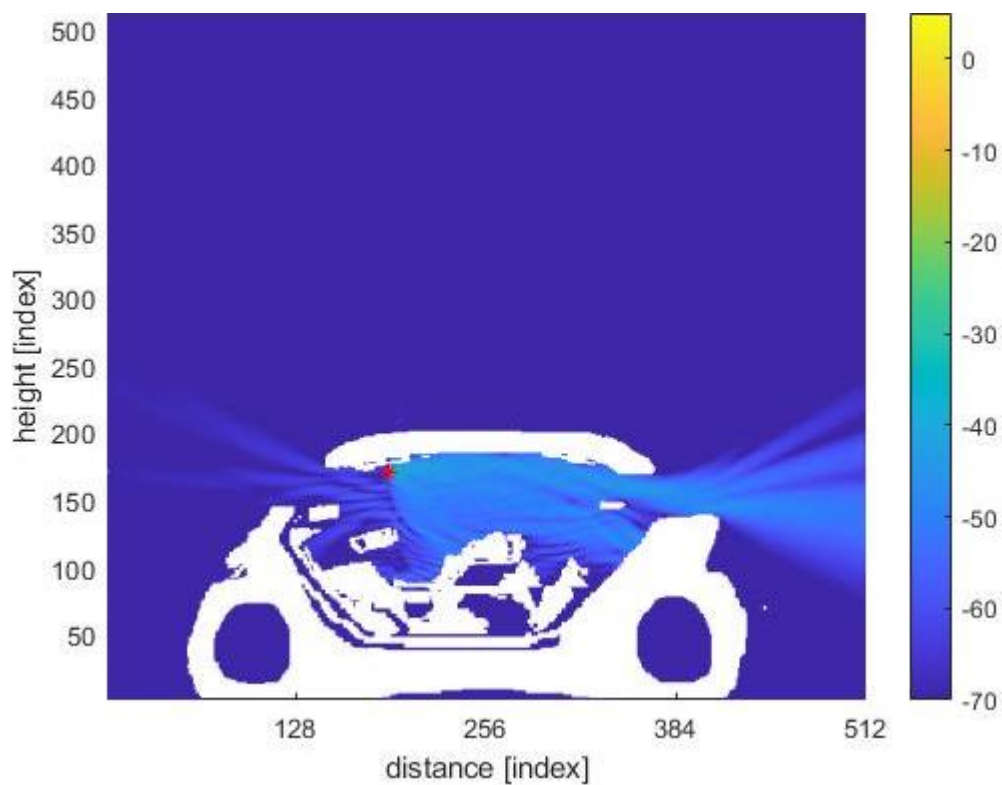


Figura 4.13 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

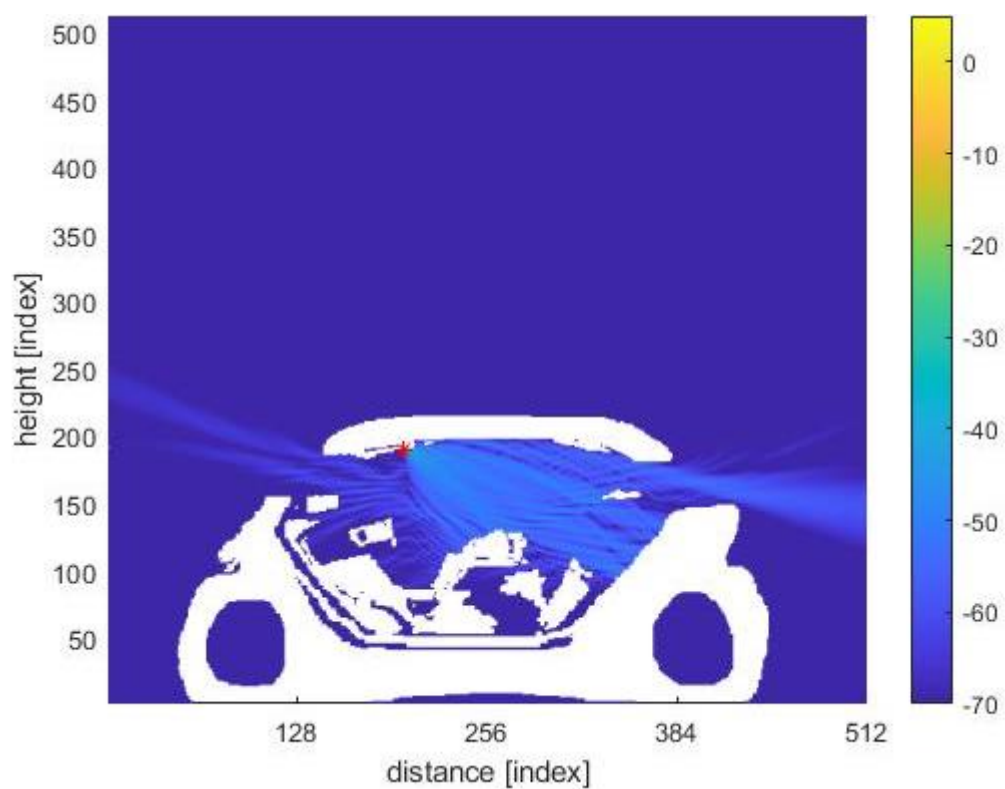


Figura 4.14 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil
biplaça sense passatgers

Pel que fa a la cobertura en aquest model de vehicle, podem veure com és bona en el seu interior, ja que arribaria a cobrir totes les parts on es veuran afectats els passatgers. Per a freqüències de 5.9 GHz veiem que ja es comença a intuir com es va perden senyal, encara que, segueix sent bona pel funcionament que desitgem.

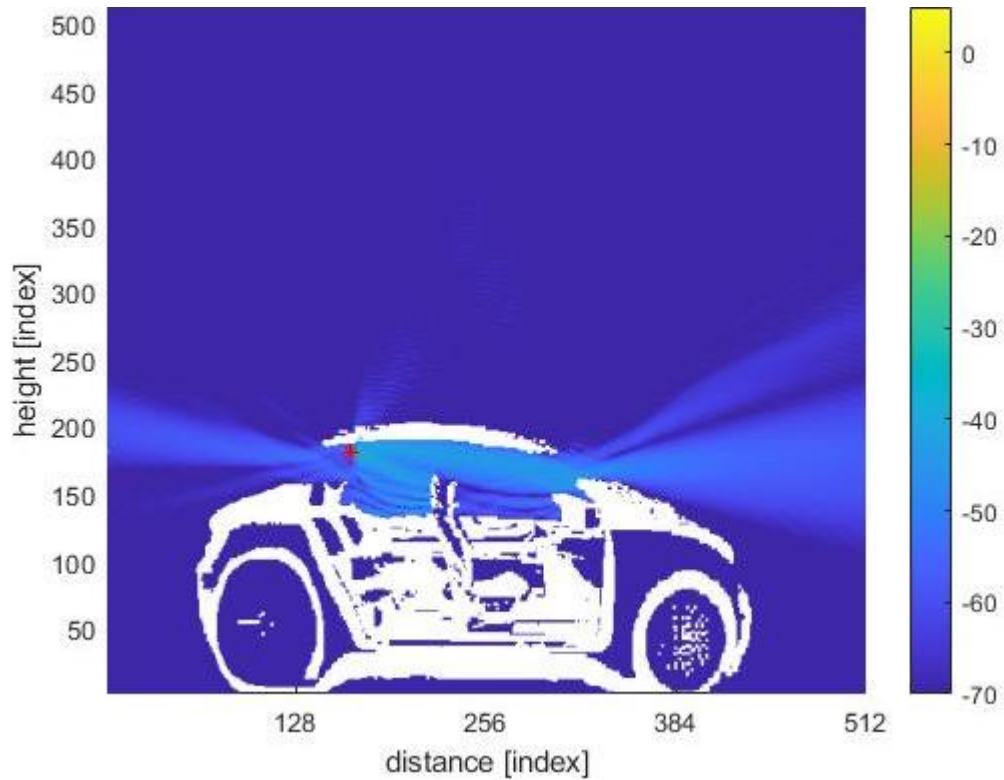


Figura 4.15 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

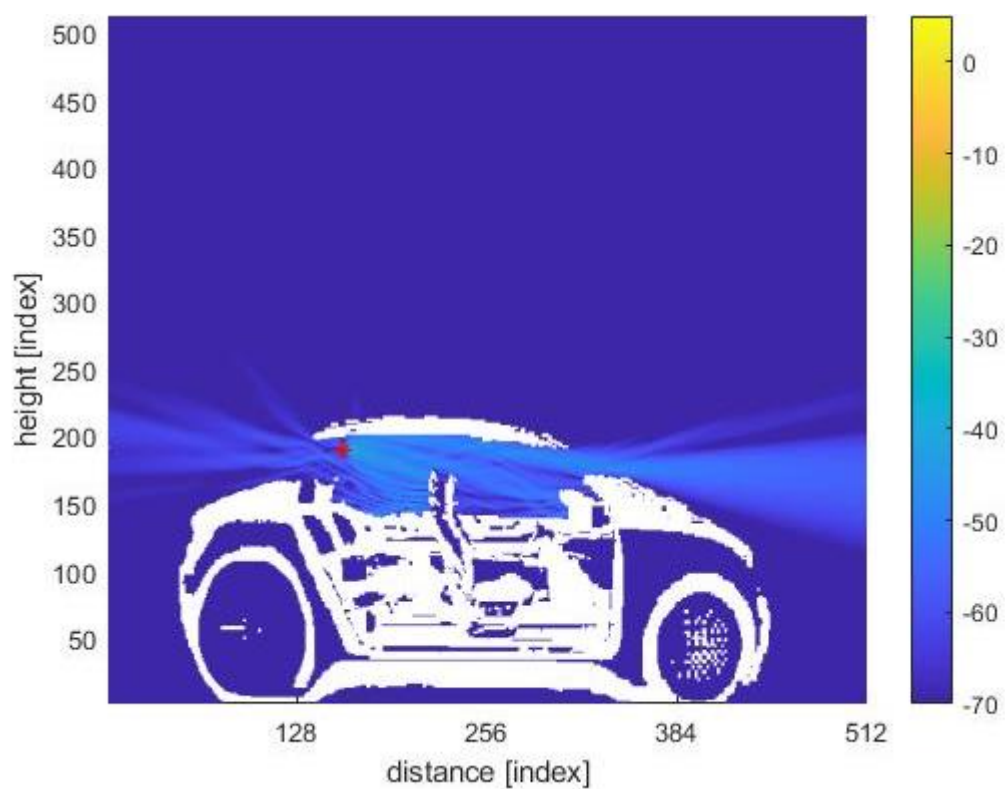


Figura 4.16 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

Pel que fa a la cobertura inalàmbrica en l'interior d'un autobús amb passatgers, veiem que les dues persones que estan més a prop de la font són les quals hi arribaria millor senyal. Un cop el senyal es va allunyant del seu punt i va topant amb diversos obstacles com una televisió penjada des de el sostre, podem veure com va perdren cobertura pels passatgers que són al final de l'autobús.

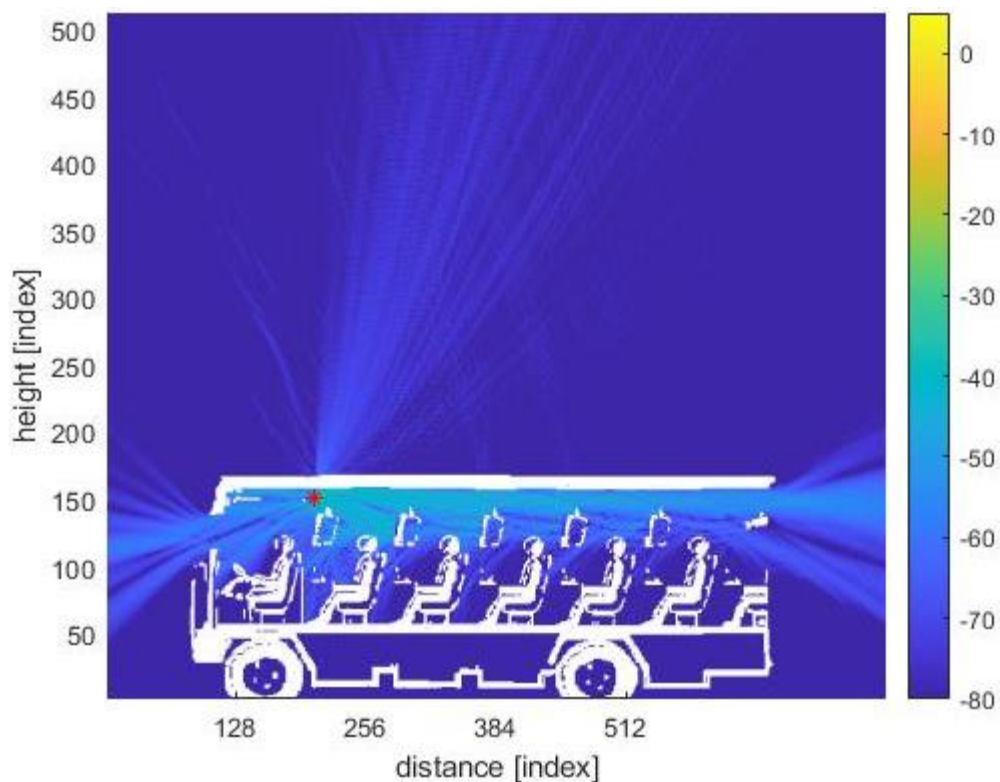


Figura 4.17 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en autobús amb passatgers

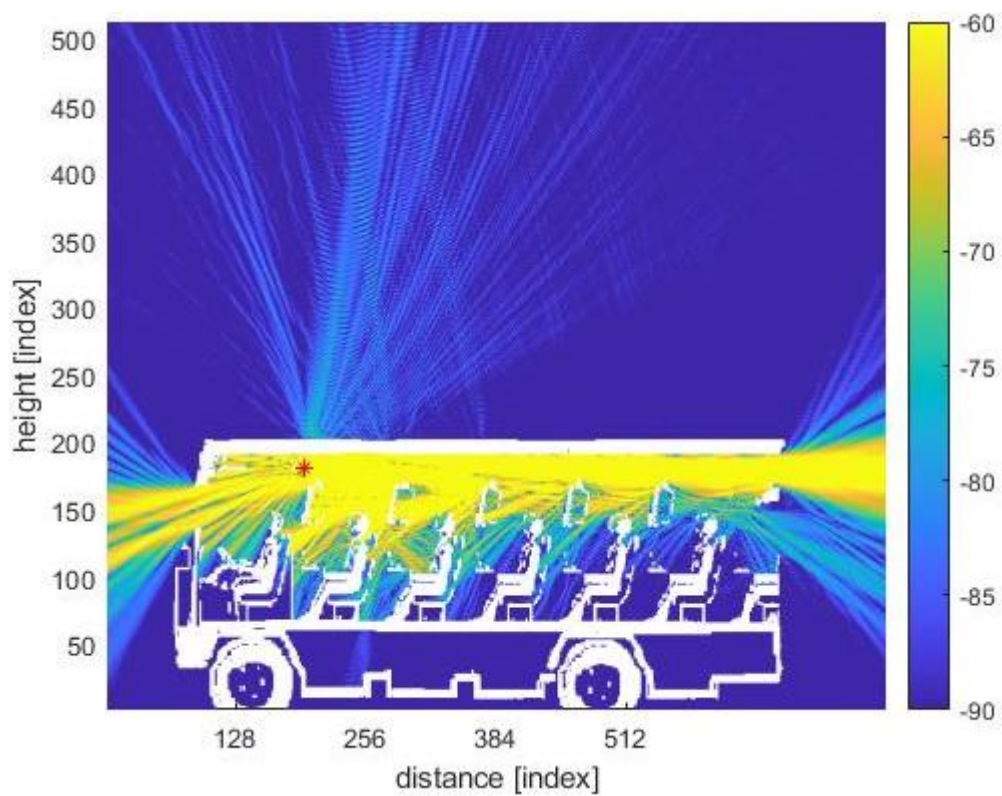


Figura 4.18 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en autobús amb passatgers

La radiació que transmet l'antena al passatgers col·locada en el davant del vehicle, vista de de dalt, és bona per a les dues persones que es senten en el pilot i copilot, però per a les dues que hi són al darrera és una mica més dolenta. Això és conseqüència de que l'antena està radiant en una posició òptima per a uns, però no tan eficient per a d'altres.

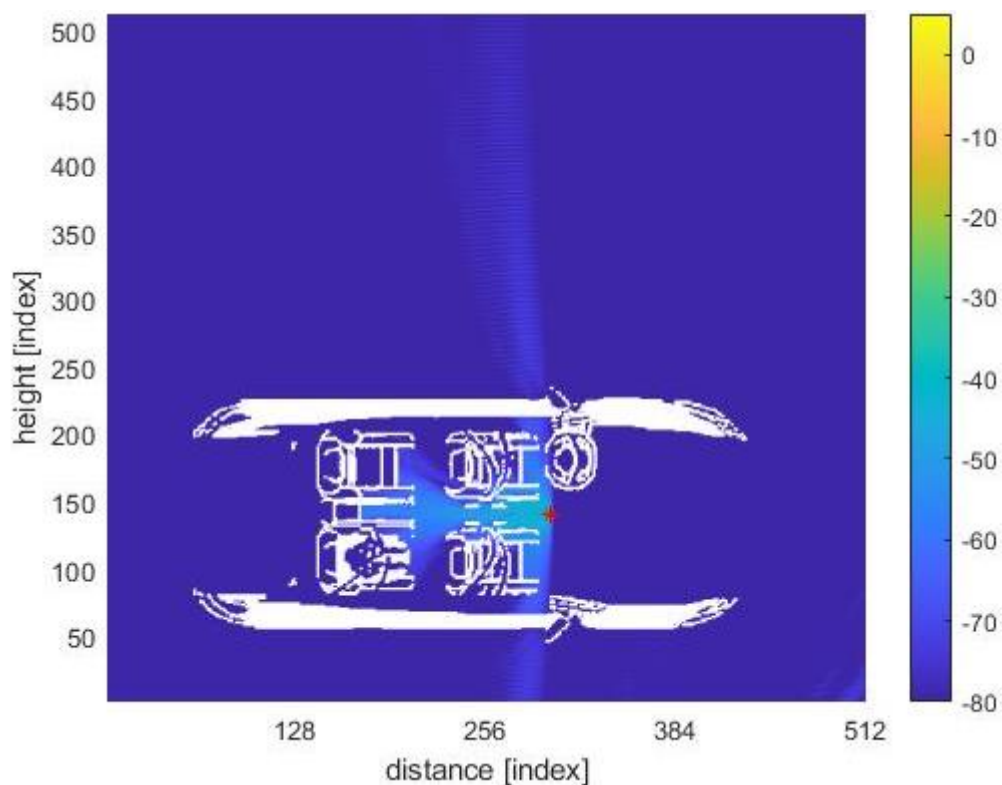


Figura 4.19 Antena unidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

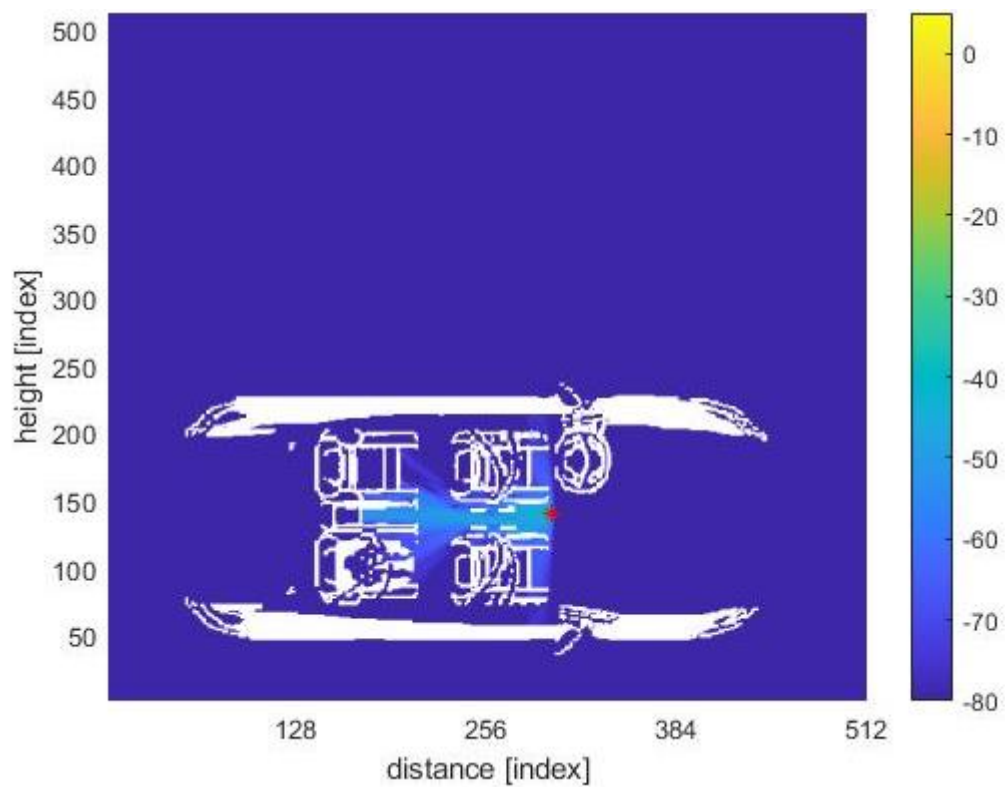


Figura 4.20 Antena unidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

4.2.1.2. 3.6 GHz i 5.9 GHz: Antena radiant al mig del vehicle

En aquestes simulacions, podem observar com l'antena al ubicar-se en l'eix central del vehicle i només donant cobertura a dos passatgers és més favorable i adequada per a les tasques que realitzaríem.

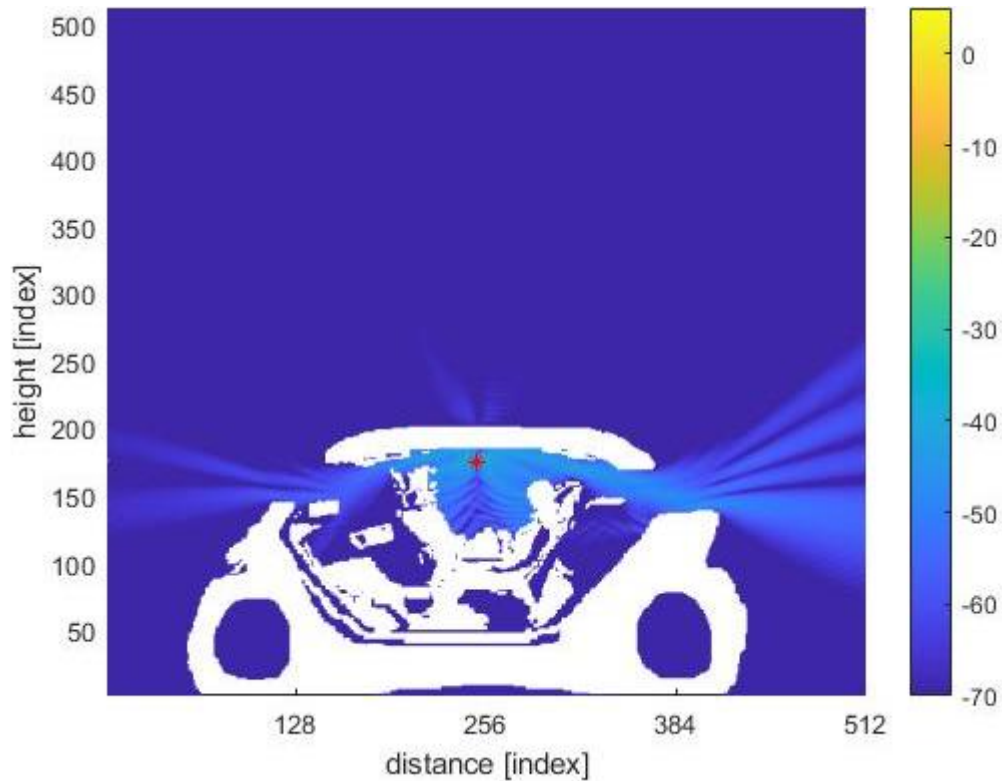


Figura 4.21 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

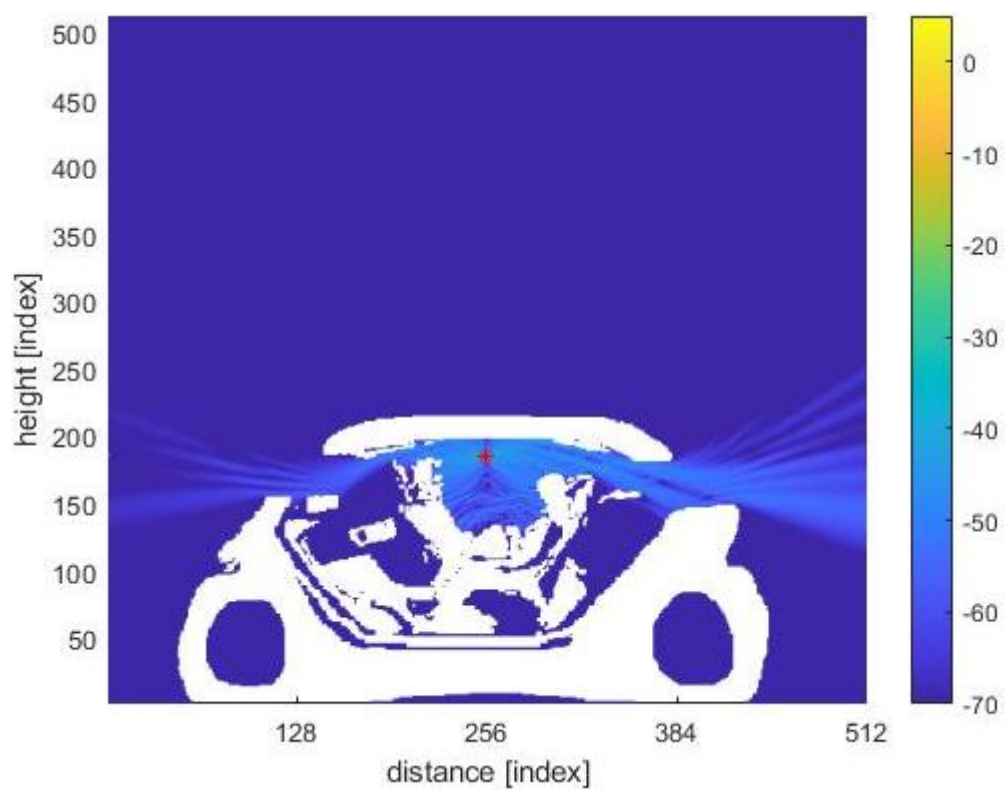


Figura 4.22 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

Per a les següents simulacions, es podrà observar com cobreix tot l'interior del vehicle quan col·loquem l'antena en el centre radiant de forma bidireccional. En aquesta situació, els dos rangs de freqüència que s'utilitzen irradiarien d'una manera semblant, fet pel qual podríem establir que cobreixen la cobertura inalàmbrica interior de l'automòbil.

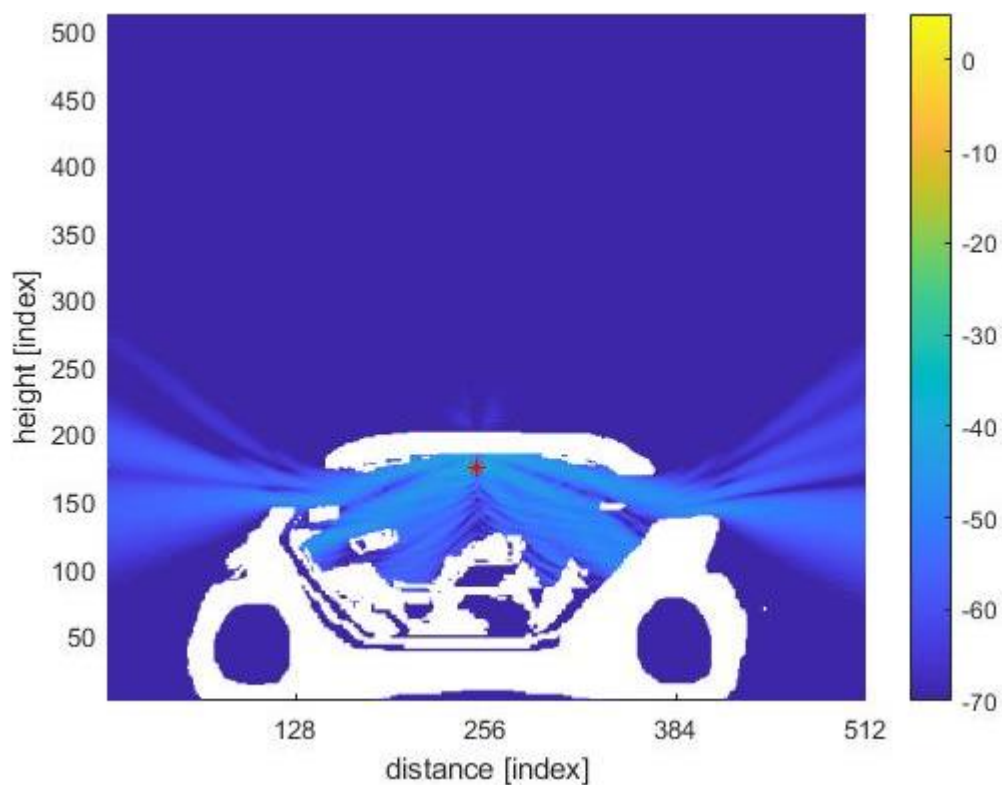


Figura 4.23 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

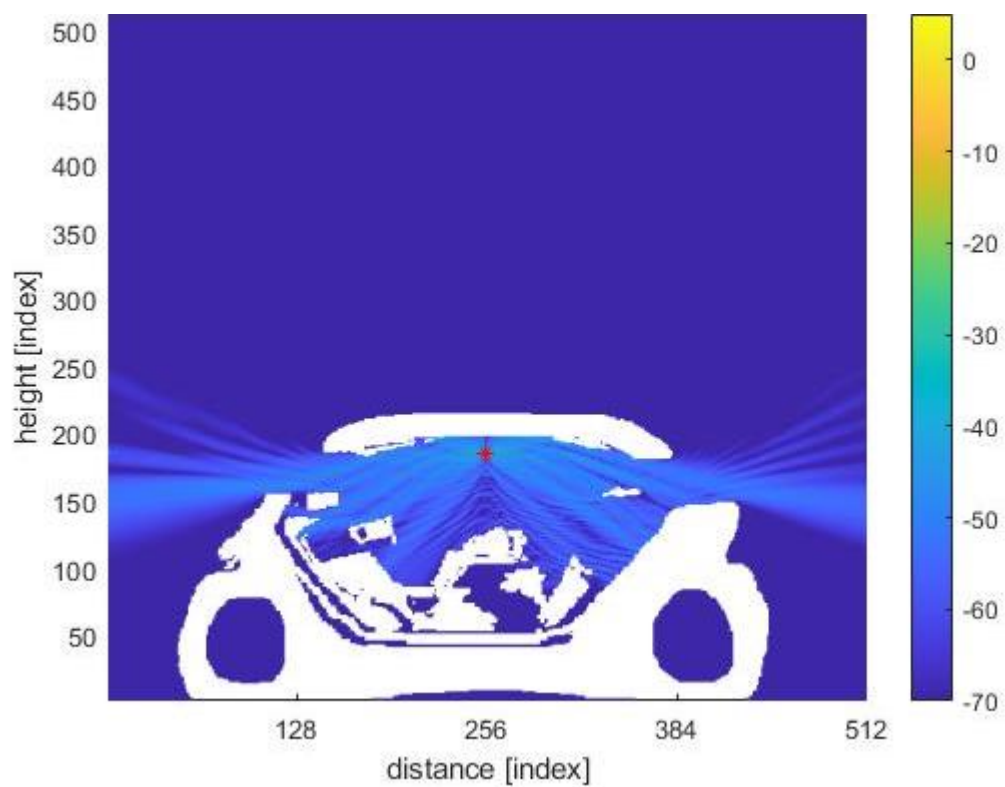


Figura 4.24 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

En aquest model de vehicle, la cobertura serà més favorable en freqüències més baixes que en altres, ja que quan tenim freqüències de 3.6 GHz es cobreix tota la cabina dels passatgers que quan irradiem a freqüències de 5.9 GHz on ja es comença a observar que, en certes zones, podem perdre una mica de senyal.

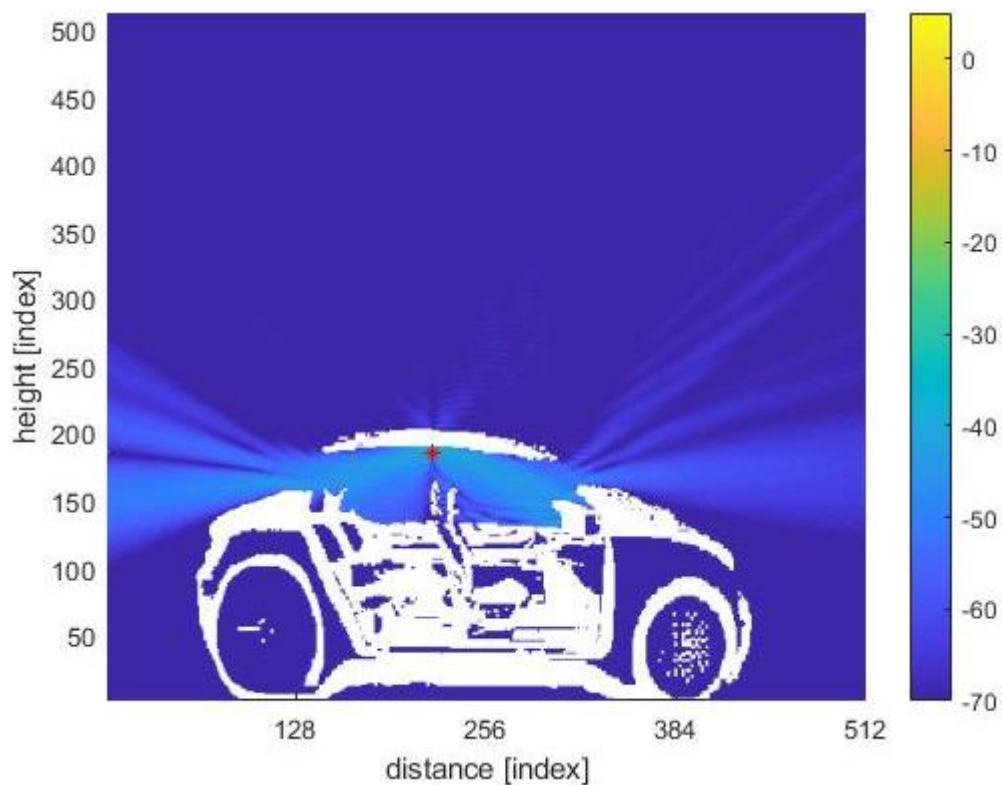


Figura 4.25 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

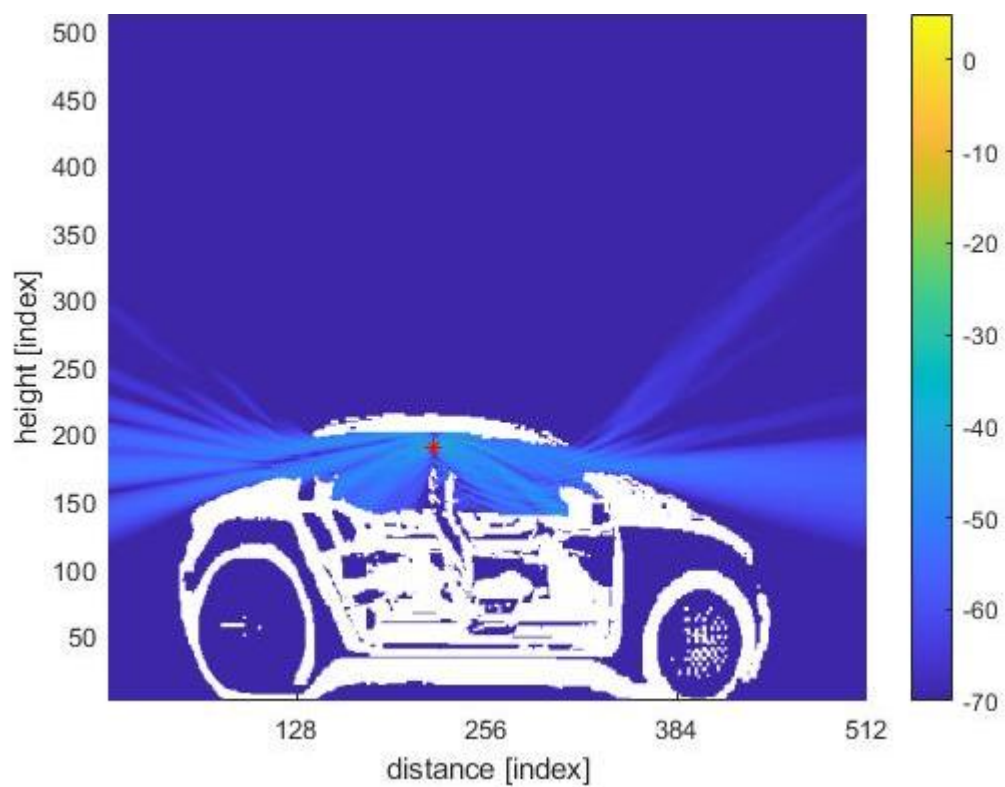


Figura 4.26 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

En les simulacions on introduïm un autobús amb passatgers, podem observar que la cobertura interior seria correcta. Quan volem donar cobertura a tots els passatgers tenint l'antena ubicada al centre, passa que els passatgers més allunyats tinguin una certa deficiència perquè els hi arribi el senyal, fet que no els hi arribi de manera tant directe.

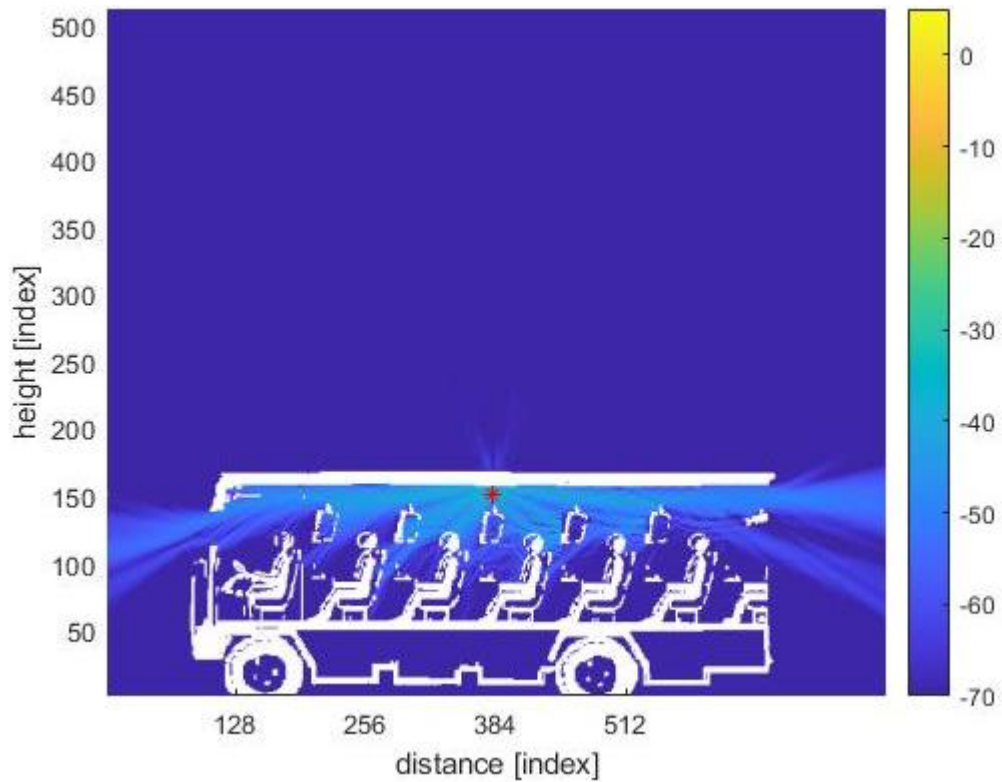


Figura 4.27 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en autobús amb passatgers

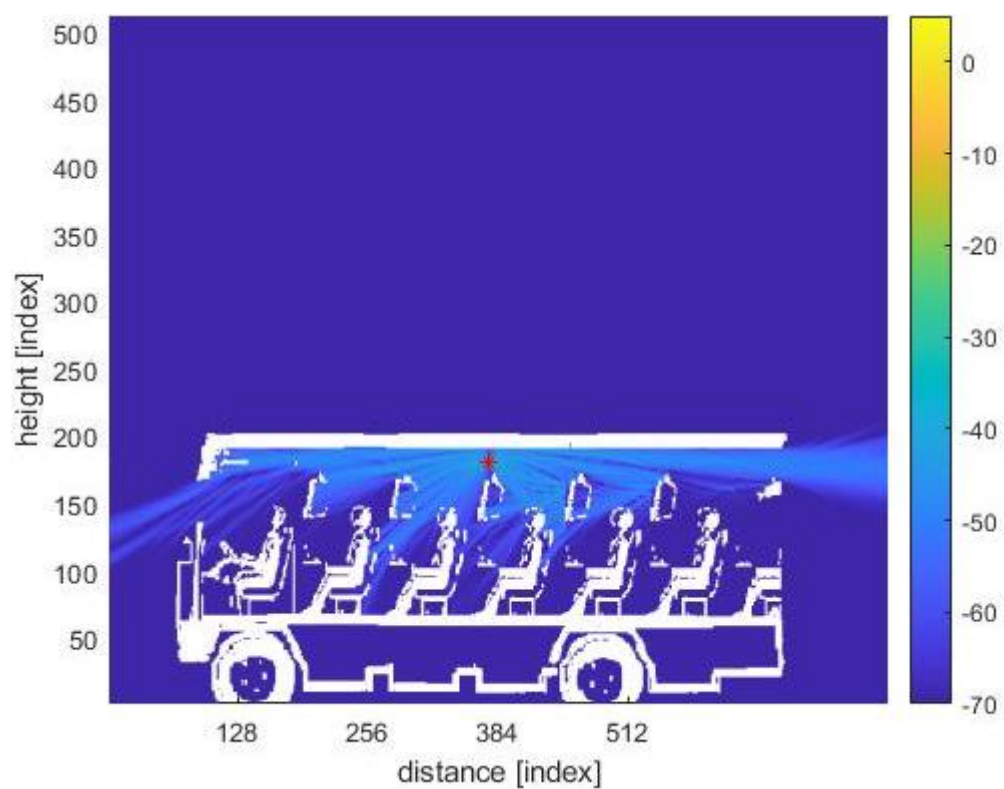


Figura 4.28 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en autobús amb passatgers

En les següents simulacions es podrà visualitzar com arribaríem a cobrir a tots els passatgers quan ubiquem la font en mig del vehicle. Cobriria totes les parts davanteres i posteriors de l'automòbil.

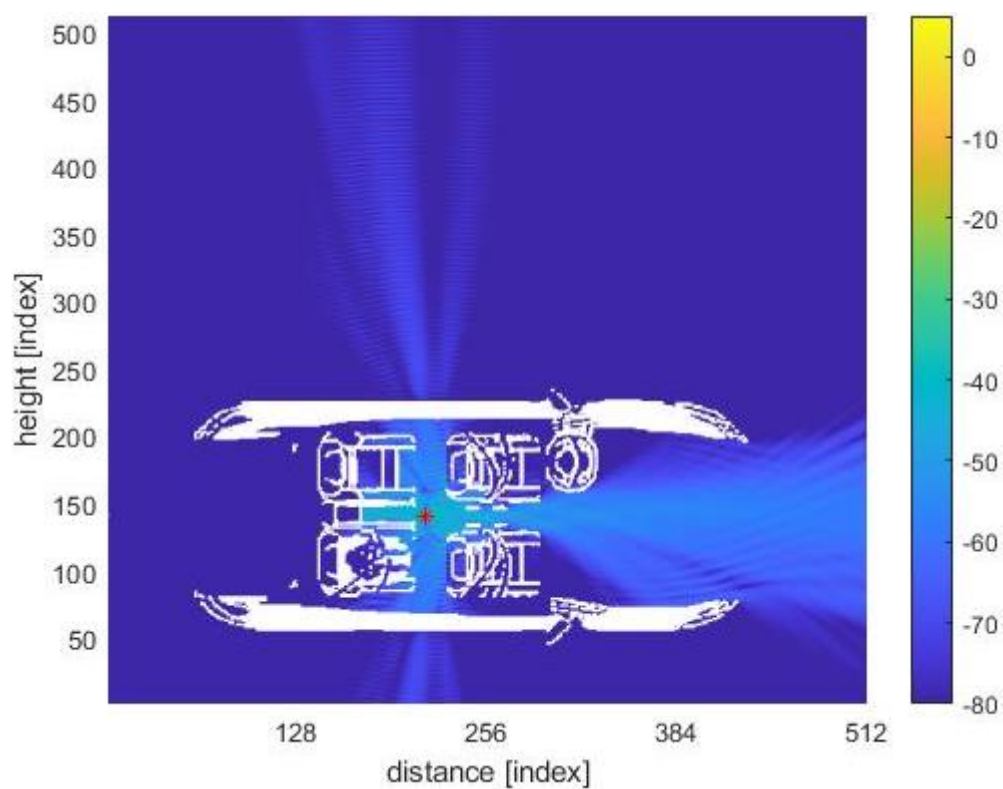


Figura 4.29 Antena bidireccional a freqüència de 3.6 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

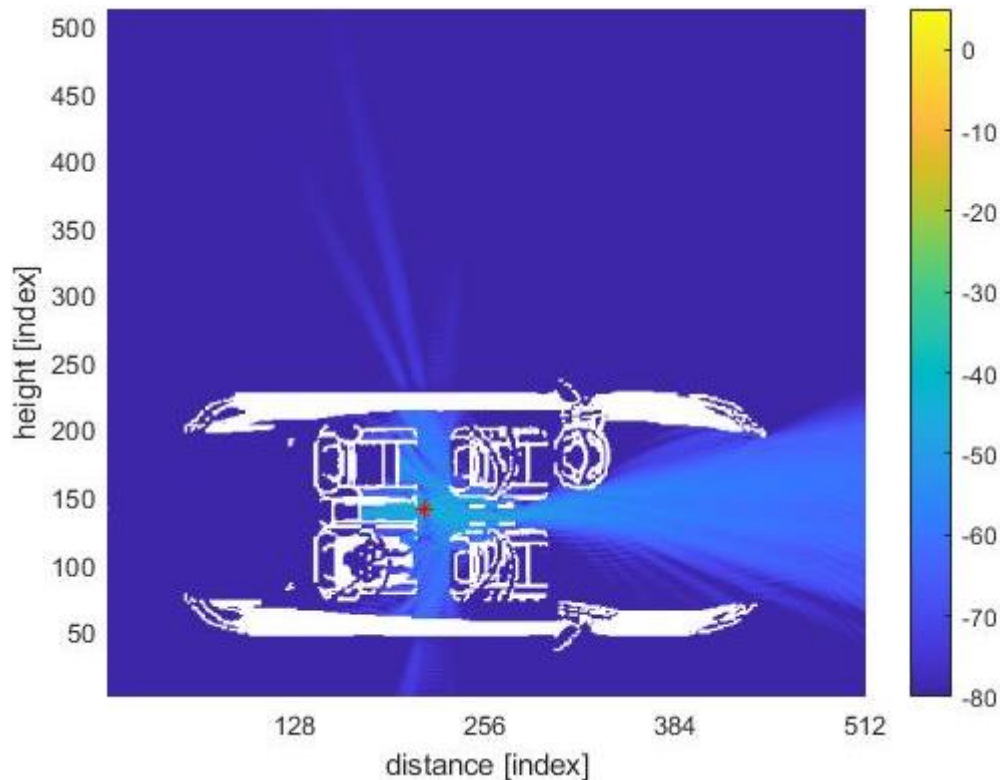


Figura 4.30 Antena bidireccional a freqüència de 5.9 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

4.2.2. Aspectes a destacar en la cobertura

Malgrat haver fet l'estudi en dues freqüències diferents i haver extret les respectives simulacions per a cada rang de freqüència de treball, podem concloure alguns aspectes positius en vers a la cobertura interior en els vehicles nombrats. Primer de tot, cal nombrar que quan ens mantenim a freqüències de 3.6 GHz, normalment, la cobertura serà millor que en freqüències de 5.9 GHz, però malgrat això podem concloure que per a realitzar les activitats de monitoratge descrites en el capítol 1 serà suficient i tindrem una bona cobertura.

En totes dues simulacions amb diferents vehicles (automòbil i autobús) em pogut treure la conclusió que la posició de la font ha de ser en el centre, i actuant així com una antena bidireccional on enfoqui en totes dues direccions per a cobrir en la seva major part als passatgers.

Podem concloure que les dues freqüències de treball tindran un efecte semblant, però que si continuem augmentant la freqüència de treball podem arribar a tenir problemes en quan a cobertura. Aquests aspectes es veuran en més detall en l'apartat següent, on treballarem a freqüències altes de 24 GHz.

4.3. A freqüències altes: 24 GHz

4.3.1. Cobertures interior vehicle

4.3.1.1. Antena radiant al davant del vehicle

Quan treballem a freqüències altes la cobertura en l'interior dels vehicles serà diferent que quan treballem a freqüències baixes. En aquest primer apartat, simularem la font en la posició just davant en l'interior de la cabina del vehicle tal i com s'ha fet en els casos anteriors.

En aquesta primera simulació, en la qual tenim passatgers i ja ens estarien afectant en la cobertura inalàmbrica interior, podrem observar com el senyal no es tan bo. És cert que la cobertura sí que arribaria als dos passatgers que tindríem dins, però pel voltant de l'automòbil seria molt escassa.

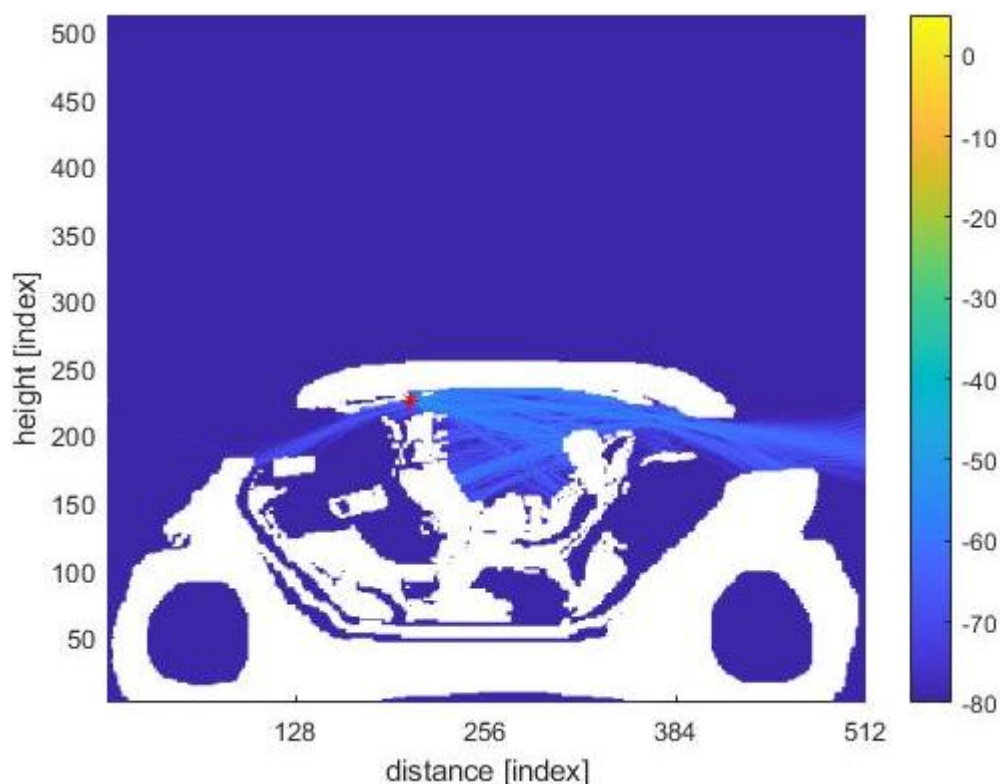


Figura 4.31 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

Com podem comprovar, en aquesta simulació on no hi ha ni passatgers ni seients, la cobertura es veu minvada i no cobriria amb tanta intensitat tot l'interior del vehicle. Hi hauria zones on la propagació és més directe però en d'altres on quasi no hi hauria.

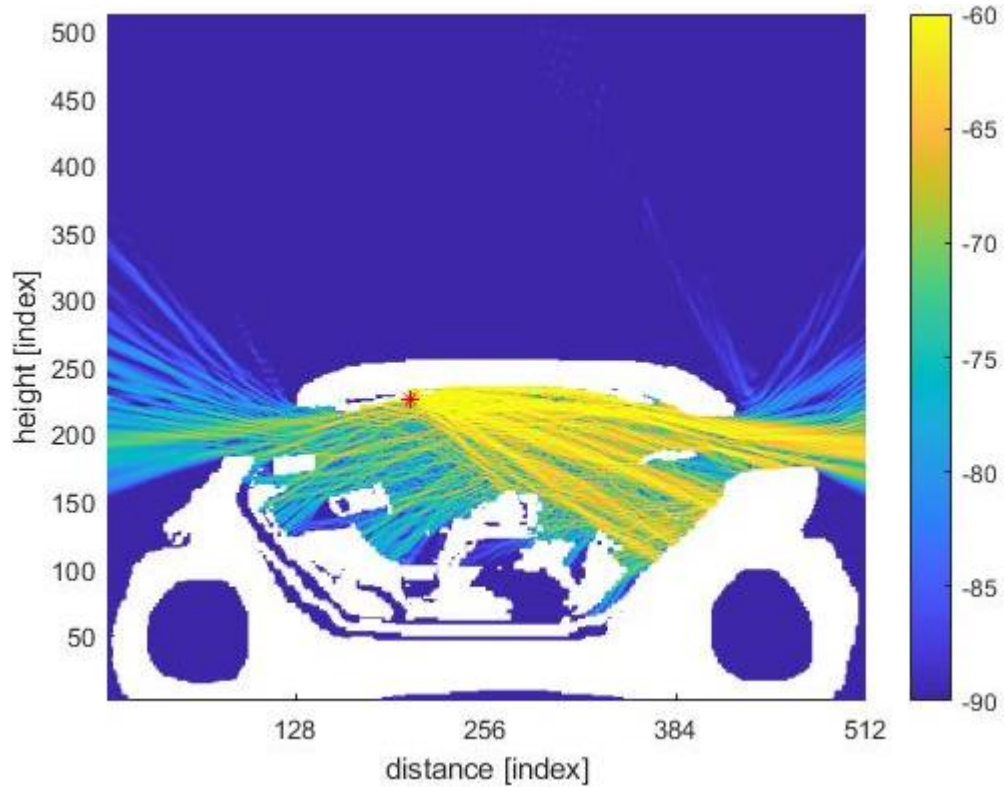


Figura 4.32 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

En aquesta simulació podem veure que ens passa el mateix que en la figura anterior (**Figura 4.32**) on la radiació de cobertura en zones directes de on hi ha la font seria acceptable, però en d'altres on estem lluny de la font i ens afecta el fet de tenir seients, seria una cobertura deficient en el moment que hi poséssim passatgers.

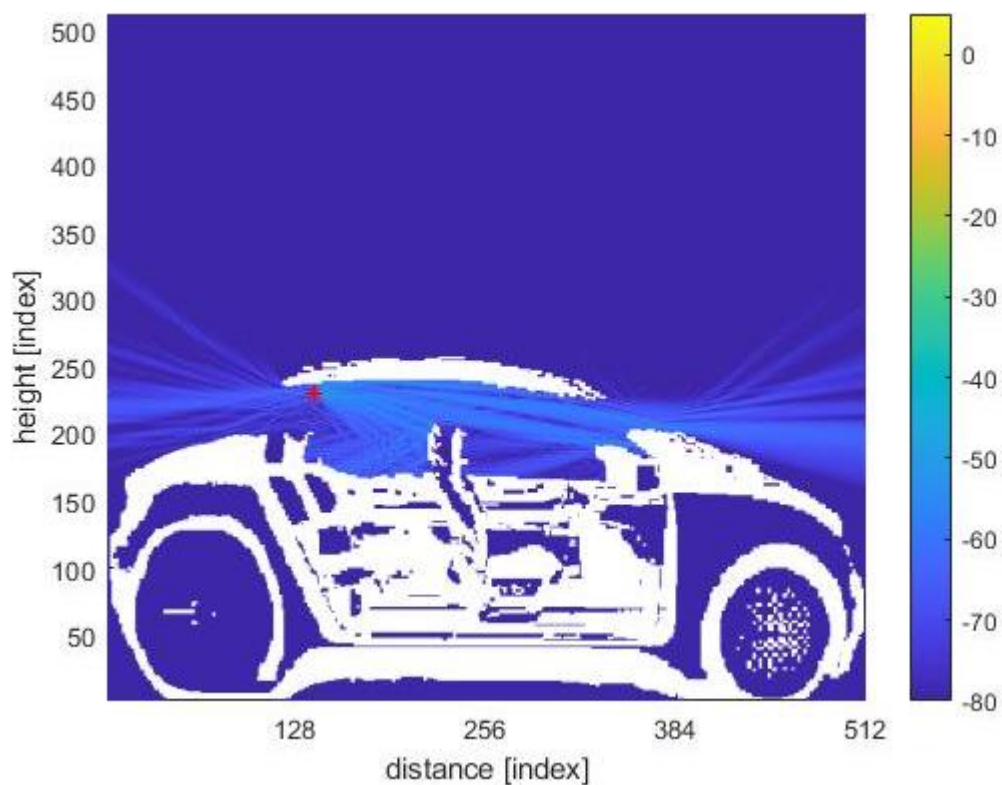


Figura 4.33 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

En el moment que passem d'un vehicle de dos o quatre places a un vehicle de major envergadura, en el nostre cas un autobús, observem com tindriem una cobertura uniforme en tots els passatgers, incloent aquells que estan més a prop de la font. La cobertura viatjaria pel sostre del vehicle, impedint que arribi tan nítida a cadascun dels passatgers.

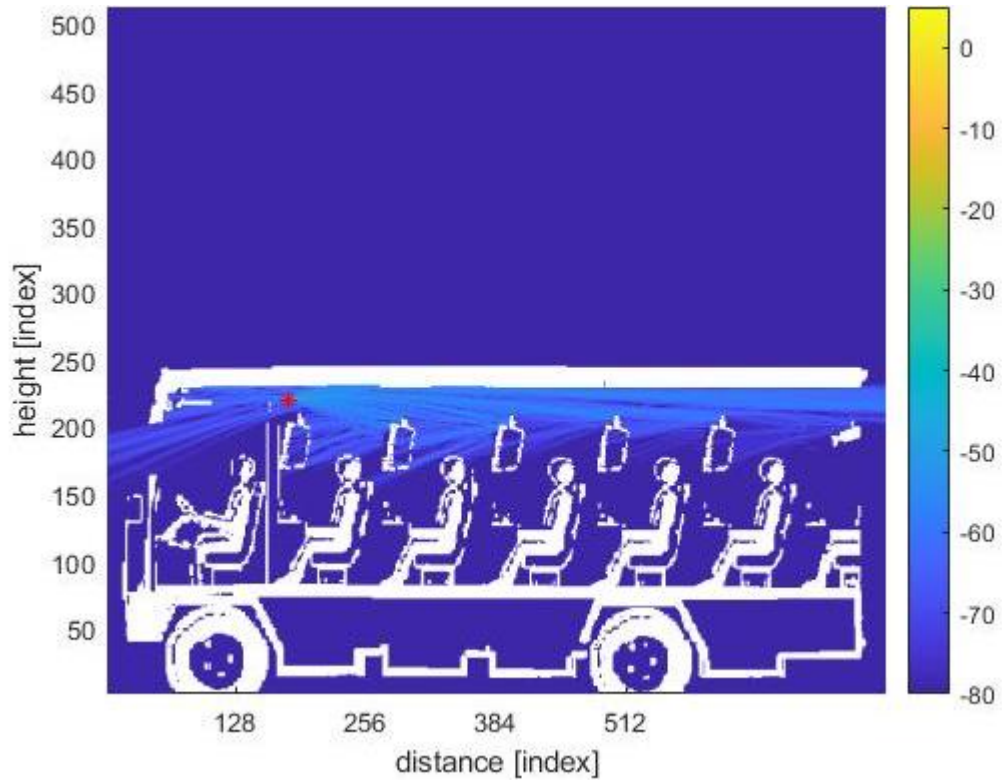


Figura 4.33 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en autobús amb passatgers

En la simulació següent, on podem observar des de dalt l'interior del vehicle i la posició de la font, observem que la radiació de cobertura és més pobre, fet que no arribi quasi cobertura als passatgers del darrera i cobrint un espai molt petit en l'interior.

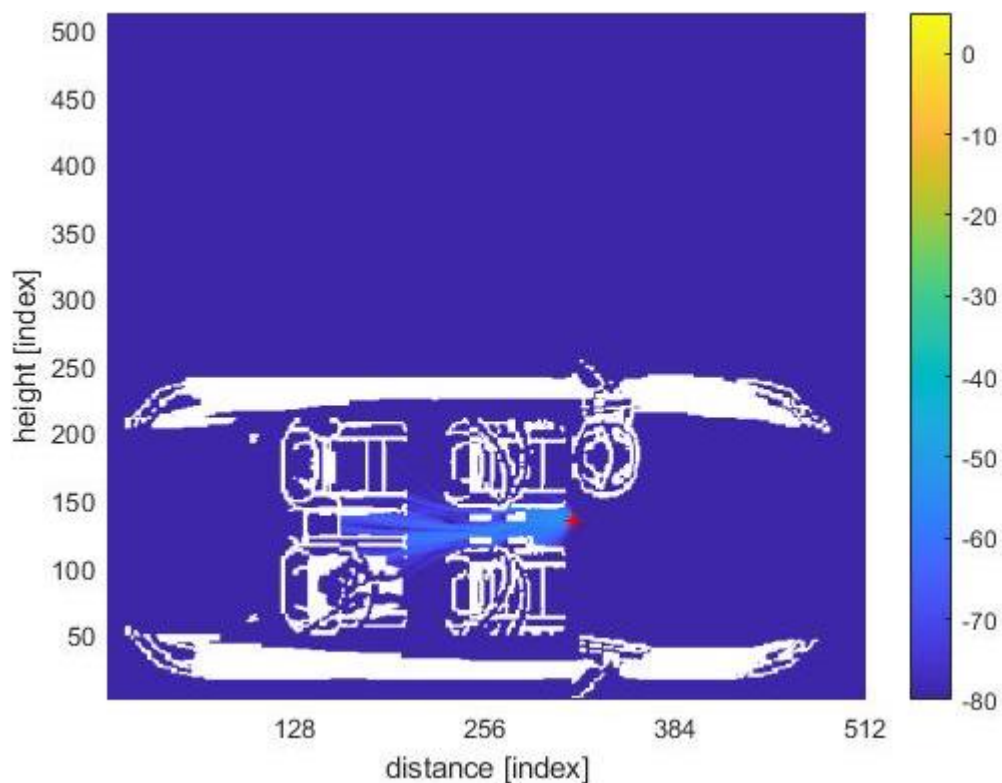


Figura 4.34 Antena unidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

4.3.1.2. Antena radiant al mig del vehicle

En aquest apartat modifiquem la posició de la font i la posarem al mig del vehicle per a veure la diferència que pot tenir respecte quan la posem al davant del vehicle i quines conseqüències tindria.

En la següent figura, podem observar com la cobertura irradia de manera directe als dos passatgers, però de manera insuficient en el darrera d'ells mateixos i no cobrint gran part de l'interior de la cabina de l'automòbil.

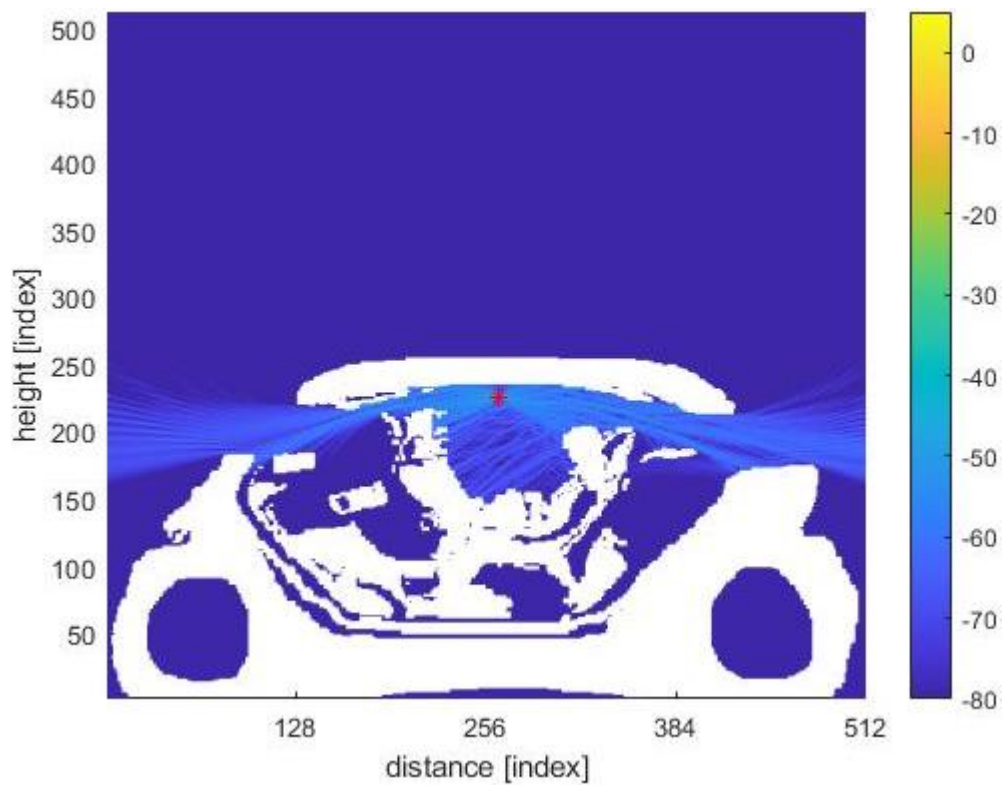


Figura 4.35 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

En la imatge següent, es pot veure amb més claredat el comportament de la radiació en freqüències altes quan no tenim cap passatger ja que, hi hauria zones on li costaria arribar en la transmissió de la cobertura. Encara que al estar situada al mig, fent que l'antena actuï de manera bidireccional, el senyal que ens podria arribar a cobrir seria limitat.

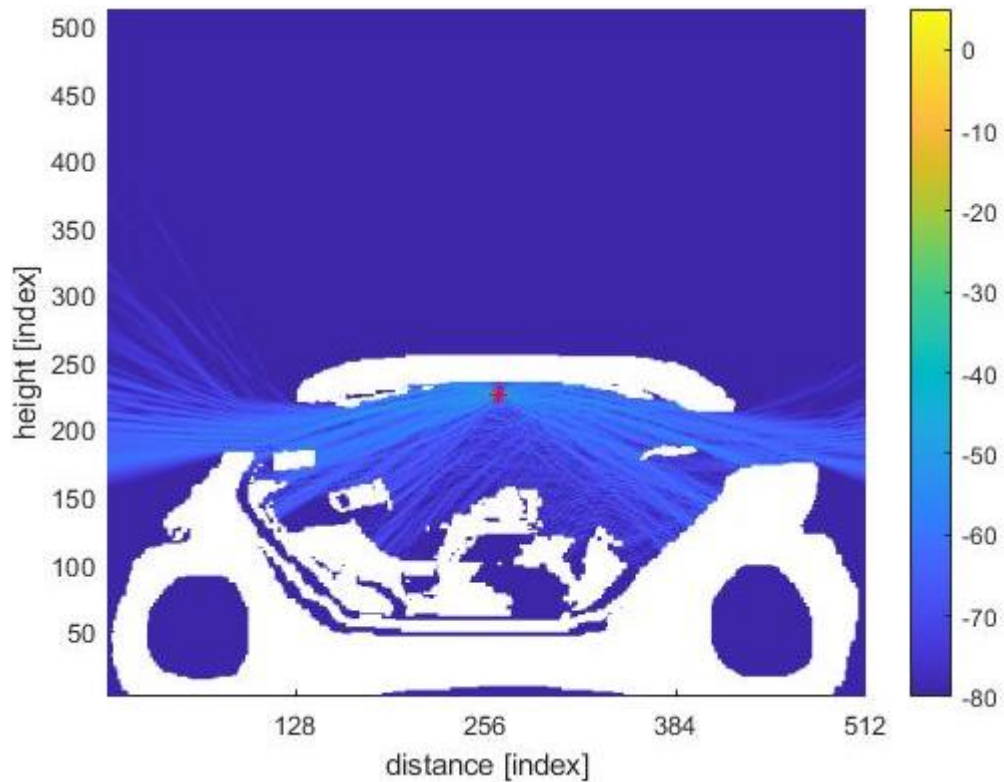


Figura 4.36 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça sense passatgers

En la figura següent, es veuria reflectit una situació semblant a la de la figura anterior, ja que la cobertura irradiaria força bé en una part de les proximitats de la ubicació de la font, però quan es va radiant cap a les zones dels passatgers perd força i no hi hauria tanta cobertura en l'interior del vehicle.

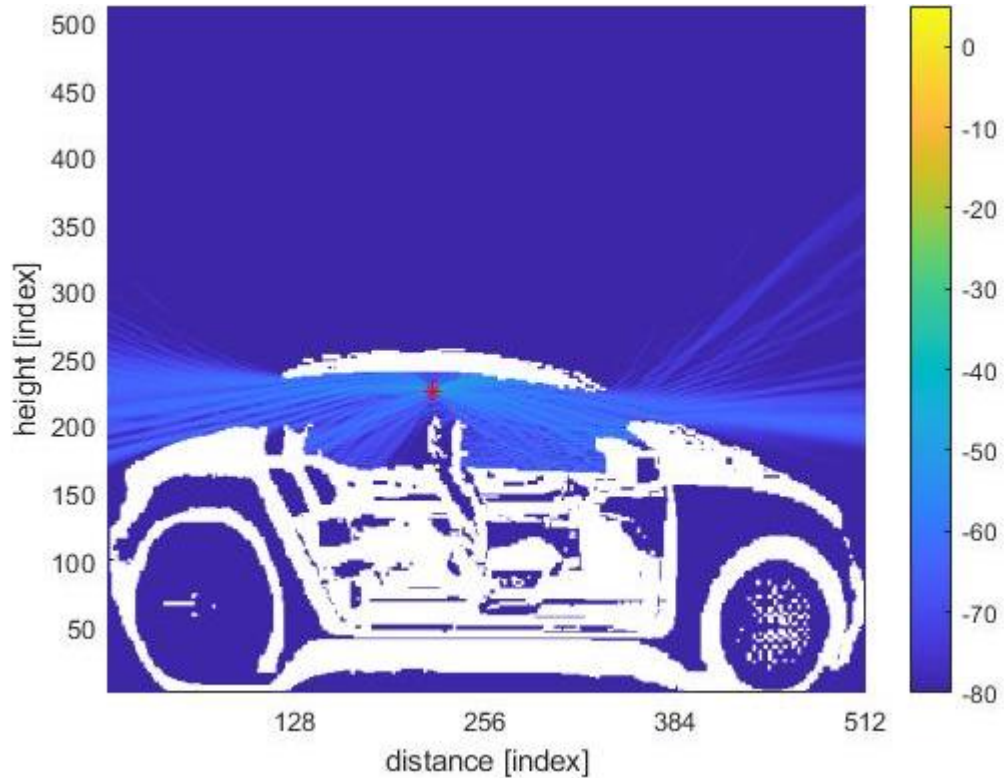


Figura 4.37 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places sense passatgers

Quan substituïm l'automòbil per un autobús, observem que en aquest rang de freqüència la cobertura que es donaria a la gran majoria dels passatgers no seria tant efectiva ni tan bona. Comprovem, mitjançant la simulació, que en les zones on estan asseguts els passatgers no els hi arribaria gaire senyal i, per tant, no tindríem la cobertura desitjada.

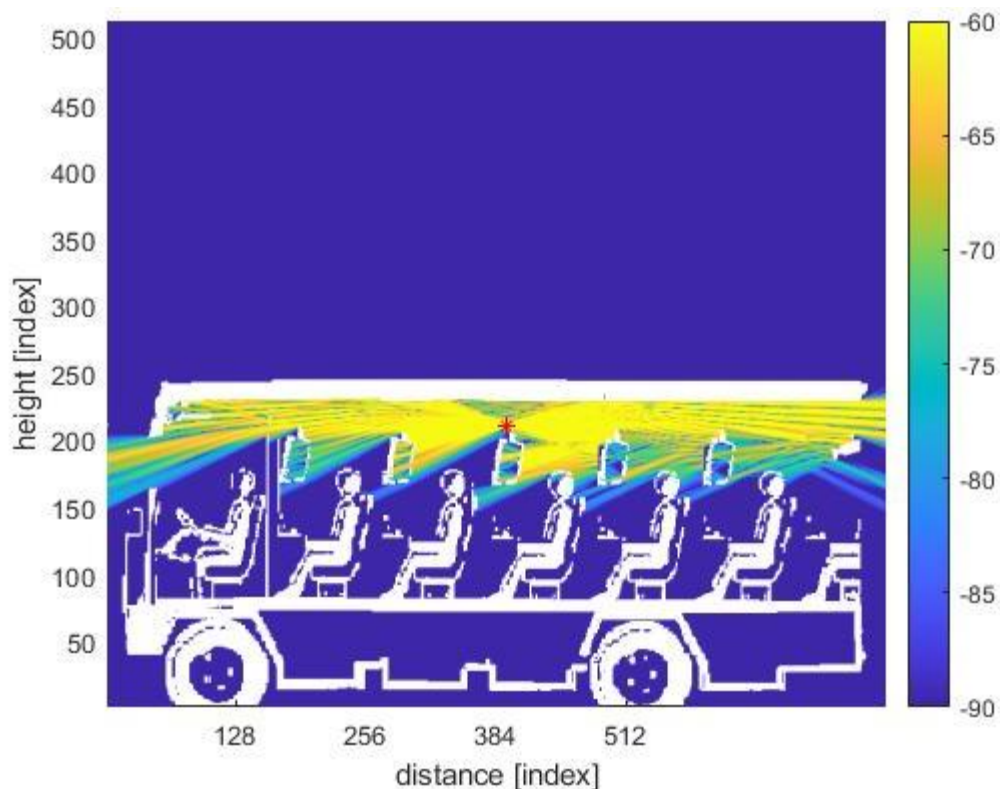


Figura 4.38 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en autobús amb passatgers

La cobertura interior en aquesta simulació, vista des de dalt del vehicle i, per tant, des d'una posició adequada per a observar la propagació, no seria prou satisfactòria ni idònia per a donar cobertura als passatgers ja que els hi arribaria una senyal molt petita.

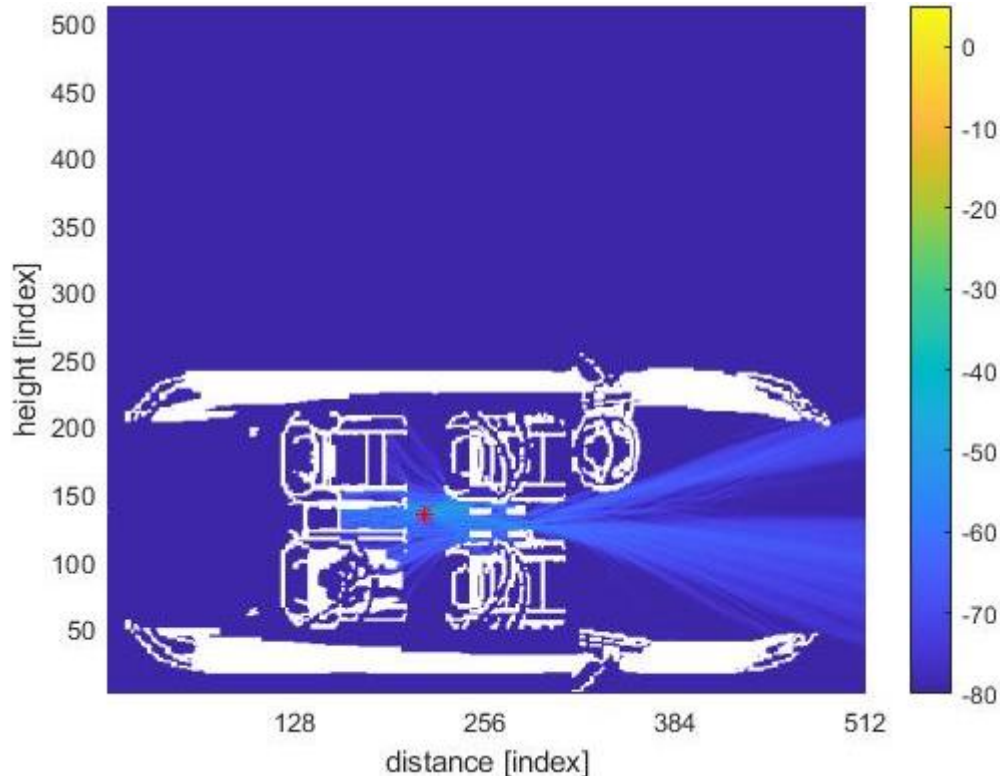


Figura 4.39 Antena bidireccional a freqüència de 24 GHz en automòbil de quatre places vist des de dalt sense passatgers

4.3.2. Aspectes a destacar en la cobertura

Quan volem donar cobertura en l'interior d'algun vehicle, ja sigui convencional, modern, de diferents mides, etc., serà molt important escollir la freqüència en la que volem treballar per a poder donar la millor cobertura possible.

En aquest últim cas, en el que hem treballat a 24 GHz, no hem pogut treure diverses aspectes positius en quan a cobertura inalàmbrica en l'interior dels vehicles. En aquesta freqüència és difícil de cobrir a tots els passatgers que hi ha dins, fins i tot quan només hi ha quatre, però un aspecte positiu que podem treure en relació a la posició òptima de la font és que hi ha una millora considerable quan posem l'antena de manera bidireccional (al mig del vehicle) que quan l'instal·lem de manera unidireccional, ja que donaria una cobertura més homogènia a tots els passatgers encara que escassa sigui. En el capítol 4.5 traurem una millor comparativa en quan a treballar en freqüències baixes i

freqüències altes, donant una millor explicació del que ens aportaria cadascuna d'elles.

4.4. Cobertura des de un vehicle a l'altre

Quan volem donar cobertura d'un vehicle a un altre, haurem de tenir en compte la posició de l'antena per a poder radiar al vehicle que la porta i en conseqüència al vehicle de davant. En aquesta simulació, hem volgut representar quin efecte tindria la cobertura a l'automòbil 1 (esquerra) en relació a l'automòbil 2 (dreta). Hem escollit el model del vehicle modern biplaça amb passatgers dins ja que així podrem tenir una visió més realista per encara possibles projectes futurs. S'ha fet la simulació amb les quatre freqüències de treball que portem fent fins ara i amb la posició de la font en el interior del cul de l'automòbil 1. L'antena serà bidireccional perquè també doni cobertura als passatgers de l'interior de l'automòbil 1. Les següents figures representaran les simulacions obtingudes:

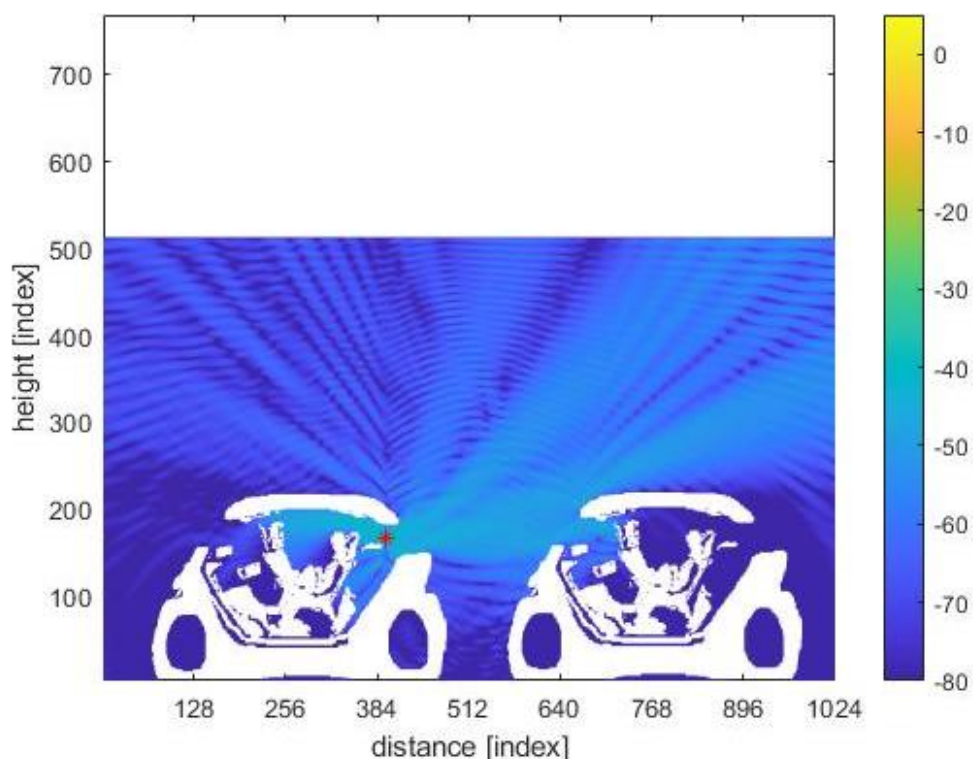


Figura 4.40 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 2 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

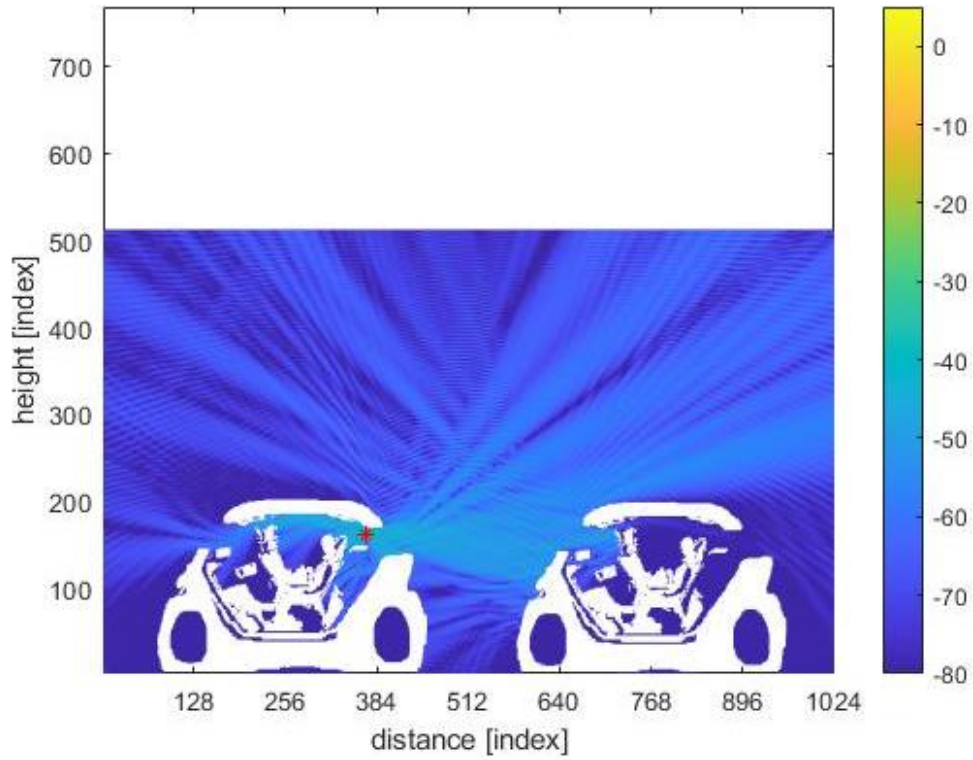


Figura 4.41 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 3.6 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

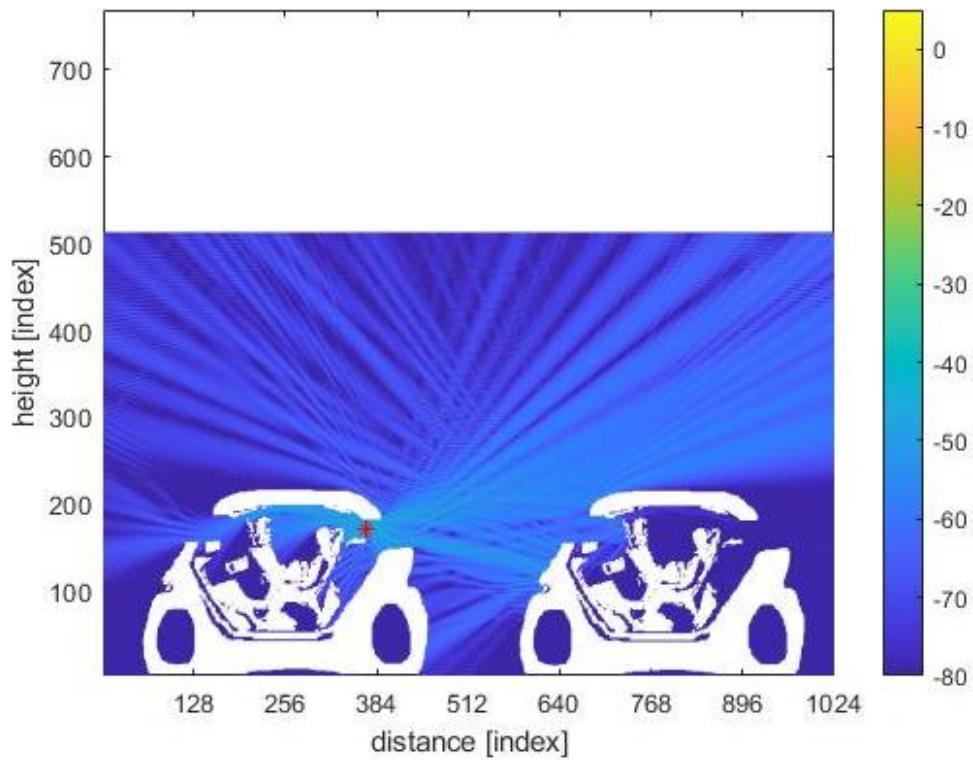


Figura 4.42 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 5.9 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

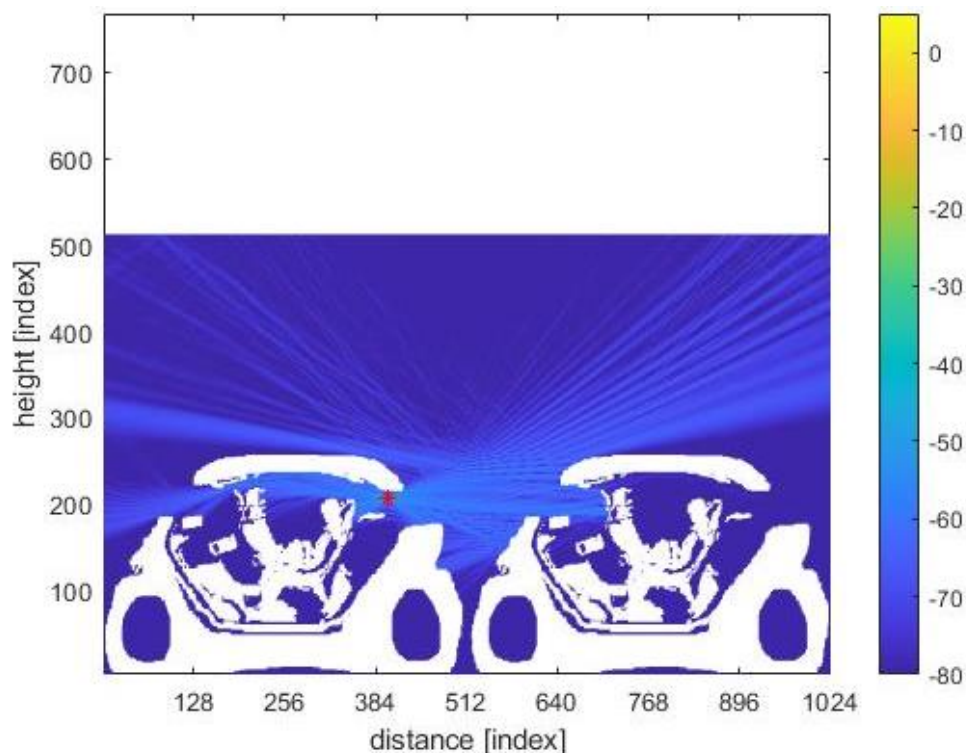


Figura 4.43 Cobertura vehicle to vehicle a freqüència de 24 GHz en automòbil biplaça amb passatgers

Un cop vist totes les simulacions extremes quan incorporem dos vehicles i volem donar cobertura en tots dos, ens donem compte que a freqüències baixes i més en concret a 2 GHz, sí que podem tenir una molt bona cobertura en l'automòbil 1 en la seva totalitat en els dos passatgers i una cobertura mitja en relació al automòbil 2. Això es degut a que quan la font emet senyals de les ones electromagnètiques cap a l'automòbil 2 i es topa amb els seients i la persona que es davant, fent així molt complicat que pugui tenir cobertura al complet en l'interior del vehicle de l'automòbil 2. Quan augmentem la freqüència, en el nostre cas fins a 24 GHz, observem que la cobertura en el automòbil 1 no seria tan eficient com quan actuem en freqüències baixes. Aquest fet ja fa decantar per a treballar en freqüències baixes tota l'estona.

4.5. Comparativa freqüències baixes VS freqüències altes

Ara que ja hem vist l'impacte que tindrà treballar en un rang de freqüències o un altre, hem decidit fer un petit resum dels aspectes més destacats en per què treballar en un rang de freqüències en concret.

Com ja hem pogut comprovar en totes les simulacions que hem analitzat, quan treballem a freqüències més baixes poder arribar a cobrir més parts de l'interior del vehicle. Com ve hem comentat en la introducció d'aquest treball, un dels objectius és analitzar la cobertura inalàmbrica interior per a fer diverses activitats de monitoratge en el present i en un futur. També hem pogut veure com una font bidireccional irradiarà i donarà millor cobertura que no una font que només apunti en una direcció (unidireccional). Per aquest fet hem decidit treballar a freqüències més baixes per a tenir una xarxa inalàmbrica que sigui lo més còmode possible pels passatgers que viatgin dins del vehicle.

També hem pogut concloure que el simple fet de col·locar dos vehicles i que un d'ells doni cobertura a l'altre mitjançant una antena bidireccional poc directiva col·locada en l'interior del vehicle. S'ha vist que seria difícil donar cobertura al vehicle de davant, ja que el senyal seria més complicat que arribés i, per tant, difícil de interactuar l'un amb l'altre. A continuació s'ha fet una breu taula on es descriurà si la cobertura és: deficient, pobre, bona o excel·lent, en funció de la freqüència, l'antena utilitzada, el model del vehicle i si hi ha o no passatgers.

Taula 4.1. Cobertura freqüències baixes VS freqüències altes

Freqüències					Cobertura
	2 GHz	Font unidireccional	Vehicle	Amb passatgers	NOTABLE
Sense passatgers				NOTABLE	
Autobús			Amb passatgers	NOTABLE	
Font bidireccional			Vehicle	Amb passatgers	EXCEL·LENT
		Sense passatgers		EXCEL·LENT	
		Autobús	Amb passatgers	EXCEL·LENT	
24 GHz		Font unidireccional	Vehicle	Amb passatgers	DEFICIENT
	Sense passatgers			DEFICIENT	
	Autobús		Amb passatgers	DEFICIENT	
	Font bidireccional		Vehicle	Amb passatgers	POBRE
		Sense passatgers		POBRE	
		Autobús	Amb passatgers	POBRE	

5. CONCLUSIONS I TREBALLS FUTURS

5.1. Conclusions

Un cop realitzat aquest treball s'ha pogut veure com la cobertura inalàmbrica de l'interior dels vehicles és un factor vital per a les comunicacions que pot tenir un vehicle en el seu interior.

S'han vist els diferents sistemes V2X que pot haver-hi els quals és comunicat amb el vehicle. Alhora hem vist la guerra freda que porten els fabricants de vehicles i les companyies de telecomunicacions; 5G i G5.

Hem justificat quin impacte tindrien les fonts de senyal en l'interior dels vehicles i quins paràmetres afectarien a aquests senyals.

Perquè tot això sigui possible, hem treballat amb la tècnica de propagació incremental, la qual tindrem una antena fixa que radia sobre un objecte per a després veure com afecta la propagació de les ones electromagnètiques en el camp elèctric.

Un cop ja tenim tots els conceptes tècnics analitzats, serà el moment de buscar i seleccionar els models de vehicles per a després poder treballar amb ells. Haurem treballat amb cinc models de vehicles diferents, els quals hi incorporarem una font en el seu interior la qual irradia de dues maneres diferents, unidireccional i bidireccional. Tots aquests models de vehicles estaran treballats amb quatre rangs de freqüències. La posició de l'antena junt amb el rang de freqüència de treball serà clau per a després escollir quina seria la millor opció. Les simulacions les hem tret amb el software Matlab "In cabin Wireless coverage", del qual ens hem centrat en la cobertura inalàmbrica dins del vehicle.

Finalment, un cop ja s'ha fet totes les simulacions és conclourà que l'estudi de la cobertura inalàmbrica a baixes freqüències en l'interior del vehicle i col·locant una antena bidireccional, podrà oferir millors cobertures pels passatgers que hi siguin dins.

Es conclou que el fet d'estar connectat i tenir una bona cobertura en l'interior d'un vehicle, farà d'una millor relació en quan al concepte de viatjar i estar connectat en tot moment. Un fet que no només tindrà aspectes en l'àmbit laboral, sinó que també en l'àmbit de la salut i el medi ambient.

5.2. Treballs futurs

Un cop realitzat aquest TFG i s'han extret les conclusions, es pot plantejar la possibilitat de continuar l'estudi de la tècnica espectral iterativa per una millora en la cobertura inalàmbrica dels interiors dels vehicles. Amb la realització d'aquest estudi, s'ha pogut analitzar i demostrar que no es pot posicionar l'antena que transmetrem el senyal dins del vehicle per a donar una cobertura inalàmbrica eficient en qualsevol part del vehicle, ni tampoc transmetre a qualsevol freqüència. La cobertura inalàmbrica és un aspecte fonamental en l'interior del vehicle i es considera que si s'hagués de seguir amb aquest treball també s'ha d'enfocar en el mateix aspecte.

Es considera que seria molt interessant fer el mateix estudi però incorporant més d'una font dins del vehicle per a intentar veure si hi hauria millores respecte el senyal que tindrien els passatgers. També es podria treballar en l'aspecte de donar cobertura a més d'un vehicle dins del mateix vehicle, ja que així podríem estalviar en el desplegament de xarxes.

Per donar una major nitidesa i exactitud en el treball, es podria deixar de banda el treballar en escala de blancs i negres per introduir una escala de grisos o fins i tot, d'altres colors. Amb això el que aconseguiríem es modelar en quan a lluminositat els diferents materials que intervenen en l'interior del vehicle (metall, el cos humà, el cuir, etc.).

La tendència de no només tenir cobertura en l'interior del vehicle per a àmbits d'entreteniment i oci, sinó per a activitats de la salut i eines per a un medi ambient molt més sa i confortable, fan que cada cop més companyies de vehicles incorporin aquests sistema dins dels seus vehicles.

La possibilitat de poder analitzar les cobertures inalàmbriques en els interiors de les cabines d'avions per així poder donar cobertura en viatges transoceànics on el temps que es transcorre dins de l'avió és més gran seria una eina molt eficaç per totes aquelles companyies que volguessin donar servei inalàmbric als seus passatgers.

Així doncs, la continuació d'aquest TFG hauria de servir per a acabar de millorar la cobertura inalàmbrica que haurien de tenir els vehicles en determinades situacions per a poder oferir-ho als passatgers.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services, document 3GPP Technical Report 22.886 V16.00, 3GPP, 2018

[2] <https://www.altran.com/es/es/insight/5g-autopista-v2x/>

[3] Palomas, C., *Experimental Analysis of a V2X Antenna using Incremental Propagation Technique*, EETAC, UPC

[4] http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600B/WebHelp/Subsystems/wlan-ofdm/content/ofdm_80211-overview.htm

[5] http://biring.us.es/proyectos/abreproy/11280/fichero/volumen1%252FCapitulo_2_IntroOFDM.pdf

[6] <https://www.bmw.com/es/innovation/wifi-en-el-coche.html>

[7] Benkhlaifa Akil, M., "Validación de modelos de propagación radio en interiores de vehículos ferroviarios a 5GHz", Treball Final de Grau, ETSIAE, UPM, Juliol 2017

[8] J.M. Rius; A. Lozano; L.Jofre; A. Cardama, "Spectral iterative algorithm for RCS computation in electrically large or intermediate perfectly conducting cavities" IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 42 issue: 6, pp:790-797. Year 1994.

[9] IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas, Std 145-1983, Revision of ANSI/IEEE Std 145-1973.

[10] <https://www.sciencedirect.com/topics/mathematics/wave-equation>

[11] <https://www.google.com/search?q&tbm=isch&ictx=1&tbs=rimg:CWiJAlubjCN1IghoiQCLm4wjDSoSCWiJAlubjCN1ERfgwDst0log&hl=en-GB&sa=X&ved=2ahUKEwiQ87CZ15TuAhWBQEEAHd->

[LC_kQiRx6BAgAEAQ&biw=1349&bih=625#imgrc=4epr_kxurDVrTM&imgdii=LL9_7kxWvDWiMM](https://www.yfai.com/en/yanfeng-automotive-interiors-reveals-xim-autonomous-vehicle-interior-2017-north-american)

[12] <https://www.yfai.com/en/yanfeng-automotive-interiors-reveals-xim-autonomous-vehicle-interior-2017-north-american>

[13] <https://media-ct-ndp.peugeot.com/file/86/9/manual-3008.393869.pdf>

[14] Anguera, J.; Pérez, A.; *Teoría de Antenas*, La Salle Enginyeria i Arquitectura, URL (2008)

[15] Gualda Fernández, N., *Antenas para dispositivos móviles 5G e IoT*, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, UPV (2019)

[16] Huidobro, J.M., "Antenas de Telecomunicaciones", *Revista Digital de ACTA* (2013)