



Escola Tècnica Superior d'Enginyeria
de Telecomunicació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FINAL DE CARRERA

Campanya de mesures de l'ocupació de
l'espectre al Campus Nord de la UPC

(Measurement campaign of the spectral
occupation at UPC-Campus Nord)

Estudis: Enginyeria de Telecomunicació

Autor: Arnau Solé Cabrera

Director/a: Ferran Casadevall Palacio

Any: 2016

Índex general

Índex general	3
Col·laboracions.....	5
Resum del Projecte	6
Resumen del Proyecto	7
Abstract.....	8
1. Introducció.....	9
1.1. Conceptes generals	9
1.1.1. Cognitive Radio.....	9
1.1.2. Pla dividend de l'espectre radioelèctric.....	12
1.2. Objectius d'aprenentatge	14
1.3. Resultats esperats del projecte.....	15
2. Metodologia de treball	16
2.1. Planificació.....	16
2.2. Estudi teòric.....	16
2.3. Familiarització amb la instrumentació	17
2.4. Muntatge de l'equipament.....	18
2.5. Recopilació de dades.....	18
2.6. Anàlisis de punts crítics	19
2.7. Programa de processat de dades.....	20
2.8. Anàlisis de la informació.....	20
2.9. Conclusió	20
3. Metodologia de mesures	21
3.1. Set-up analitzador	21
3.2. Antena de Mesures	23
3.3. Mesura soroll.....	24
4. Descripció de les mesures i la mètrica.....	28
5. Resultats	30

5.1.	Anàlisi de l'Ocupació Espectral.....	30
5.1.1.	Banda entre 75 MHz i 230 MHz.....	30
5.1.2.	Banda entre 230 MHz i 470 MHz.....	40
5.1.3.	Banda entre 470 MHz i 790 MHz.....	49
5.1.4.	Banda entre 790 MHz i 960 MHz.....	50
5.1.5.	Banda entre 960 MHz i 1240 MHz.....	52
5.1.6.	Banda entre 1240 MHz i 1559 MHz.....	54
5.1.7.	Banda entre 1559 MHz i 1710 MHz.....	59
5.1.8.	Banda entre 1710 MHz i 2025 MHz.....	66
5.1.9.	Banda entre 2025 MHz i 2300 MHz.....	68
5.1.10.	Banda entre 2300 MHz i 2500 MHz.....	71
5.1.11.	Banda entre 2500 MHz i 2700 MHz.....	74
5.1.12.	Banda entre 2300 MHz i 2900 MHz.....	76
5.1.13.	Banda entre 2900 MHz i 3100 MHz.....	77
5.1.14.	Resum de les bandes apropiades per ser utilitzades en Radio Cognitiva.....	78
5.2.	Anàlisi de les bandes de Comunicacions Mòbils.....	81
5.2.1.	Banda de GSM-DL (925 MHz - 935 MHz).....	82
5.2.2.	Banda de DCS1800-DL (1810 MHz - 1825 MHz).....	86
5.2.3.	Banda de 2100-DL (2110 MHz - 2115 MHz).....	89
5.3.	Modelat estadístic de l'Ocupació Espectral.....	90
5.3.1.	Banda de freqüències 138 MHz - 144 MHz.....	91
5.3.2.	Banda de freqüències 174 MHz - 195 MHz.....	95
5.3.3.	Banda de freqüències 410 MHz - 430 MHz.....	98
6.	Conclusions.....	102
7.	Bibliografia.....	107
	Annex I – Espectre Radioelèctric: Bandes de freqüències.....	108
	Annex II – Freqüències assignades als diferents Operadors Mòbils.....	128
	Annex III.- Funcions <i>matlab</i>	132

Col·laboracions

Departament de teoria del senyal i comunicacions



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Departament de Teoria del Senyal
i Comunicacions**



Resum del Projecte

Avui en dia, els nous sistemes de telecomunicacions dissenyats per transmetre a través del medi radioelèctric es troben amb una manca de freqüències disponibles. La majoria de les freqüències han estat assignades de forma estàtica i es poden utilitzar únicament per a un sol propòsit. No obstant això, nombroses campanyes de mesures sobre l'ús del espectre radioelèctric han demostrat que aquest està en la seva majoria infrautilitzat. Una solució a aquest ús ineficient de l'espectre radioelèctric són les xarxes de ràdio cognitiva (*cognitive radio networks*), que permeten un ús dinàmic de l'espectre, reutilitzant les freqüències en desús amb la condició de no interferir als usuaris legítims (primaris).

L'objectiu d'aquest projecte consisteix en identificar els forats espectrals (anomenats *White Space-WS*) per a un possible ús en el futur, utilitzant sistemes de ràdio cognitiva.

Aquest treball descriu la metodologia emprada en la recollida de dades d'ocupació espectral, dades preses a través d'una campanya de mesures radioelèctriques, així com l'anàlisi posterior d'estadístiques d'ocupació espectral, obtingudes pel processat de les dades de les mesures radioelèctriques realitzades.

Resumen del Proyecto

Hoy en día, los nuevos sistemas de telecomunicaciones diseñados para transmitir a través del medio radioeléctrico se encuentran con una falta de frecuencias disponibles. La mayoría de las frecuencias han sido asignadas de forma estática y se pueden utilizar únicamente para un solo propósito. No obstante, numerosas campañas de medidas del uso del espectro radioeléctrico han demostrado que este está en su mayoría infrutilizado. Una solución a este uso ineficiente del espectro radioeléctrico son las redes de radio cognitiva (*cognitive radio networks*), que permiten un uso dinámico del espectro, reutilizando las frecuencias en desuso con la condición de no interferir a los usuarios legítimos (primarios).

El objetivo de este proyecto consiste en identificar los agujeros espectrales (*White Space-WS*) para su posible uso en el futuro, utilizando sistemas de radio cognitiva.

Este Trabajo describe la metodología utilizada en la recogida de datos sobre la ocupación espectral en el Campus Nord de UPC, datos recogidos a través de una campaña de medidas radioeléctricas, así como el análisis posterior de las estadísticas de ocupación espectral, obtenidas a partir del procesado de las medidas realizadas.

Abstract

Nowadays, there is a lack of radio-channels (frequencies) where the new telecommunications systems can operate. The most part of the available radio-channels have been statically allocated and only can work with one specific telecommunication system. However, a lot of measurement campaigns of the spectral occupation have shown that the spectrum is mostly underused. Cognitive radio is one solution for this problem, because it allow a dynamic use of the spectrum. With cognitive radio we can use the white spaces without interfering the legitimate users (primary users).

The project aim is to identify white spaces for their possible usage by the cognitive radio systems.

This document reports the methodology used for collecting data, by means of a measurement campaign, about the spectral occupancy at UPC Campus Nord as well as the subsequent analysis of the spectral statistics obtained by processing of the recorded measurements data.

1. Introducció

1.1. Conceptes generals

1.1.1. Cognitive Radio

La cognitive radio o radio cognitiva és una tecnologia utilitzada en la comunicació sense fils que permet canviar els paràmetres de xarxa tant en transmissió com en recepció, gràcies a l'observació dels factors de l'entorn com l'espectre de les senyals de radiofreqüència, el comportament de l'usuari o l'estat de la xarxa.

La radio cognitiva va néixer amb l'objectiu de fer una plataforma de radio (transmissió sense fils) definida per software i totalment reconfigurable que varies els seus paràmetres de comunicació automàticament depenen de les demandes de la xarxa i dels usuaris de la xarxa. Va ser presentada oficialment per primer cop en un article de Joseph Mitola III i Gerald Q. Maguire, [1], els quals van descriure aquesta tecnologia com *"el punt en el qual les PDAs sense fils i les xarxes relacionades són, en termes computacionals, suficientment intel·ligents respecte als recursos de radio i les corresponents comunicacions d'ordinador a ordinador com per detectar les necessitats eventuais de comunicació de l'usuari com una funció del context d'ús i proporcionar-li els recursos de radio i serveis sense fils més adequats amb aquell precís instant"*.

Aquesta idea surt per intentar solucionar el problema que hi ha en la utilització eficient dels recursos freqüencials. Els països tenen una legislació per l'ús dels recursos freqüencials i cadascun dels diferents sistemes radioelèctrics s'assigna a una banda determinada. Això fa que per llei, no es pugui introduir nous sistemes de comunicació radio perquè pràcticament tot l'espectre, en la seva part inferior a 3 GHz (que es la d'interès pel que fa als sistemes de radiocomunicacions), està ocupat.

En aquest projecte, s'ha realitzat diferents estudis on s'ha observat el nivell d'ocupació de les diferents bandes espectrals per sota dels 3 GHz. Aquests estudis han posat de manifest que la majoria de l'espectre radioelèctric està desaprofitat, encara que, en teoria, la legislació espanyola ens diu que aquest espectre està teòricament ple. Per tant, una assignació fixa provoca que les freqüències en desús, assignades a serveis específics (però realment no usades), no puguin ser utilitzades per usuaris no autoritzats (usuaris sense llicència) o per sistemes diferents, encara que la transmissió d'aquest altre servei no introduís cap interferència als serveis legítims. A més, aquests estudis conclouen que la utilització de l'espectre depèn en gran mesura del temps (moment del dia i setmana) en el qual es vol transmetre dades i del lloc on es troba l'usuari.

Aquestes dos idees constitueixen la raó de ser de la radio cognitiva, un sistema capaç de varia la seva freqüència de treball segons l'ocupació de l'espectre en cada moment i la ubicació de l'usuari.

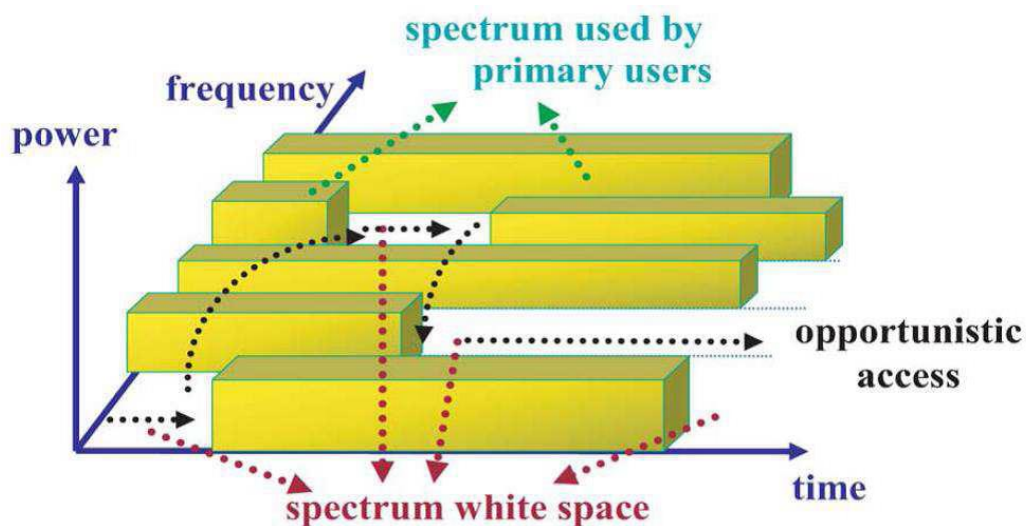


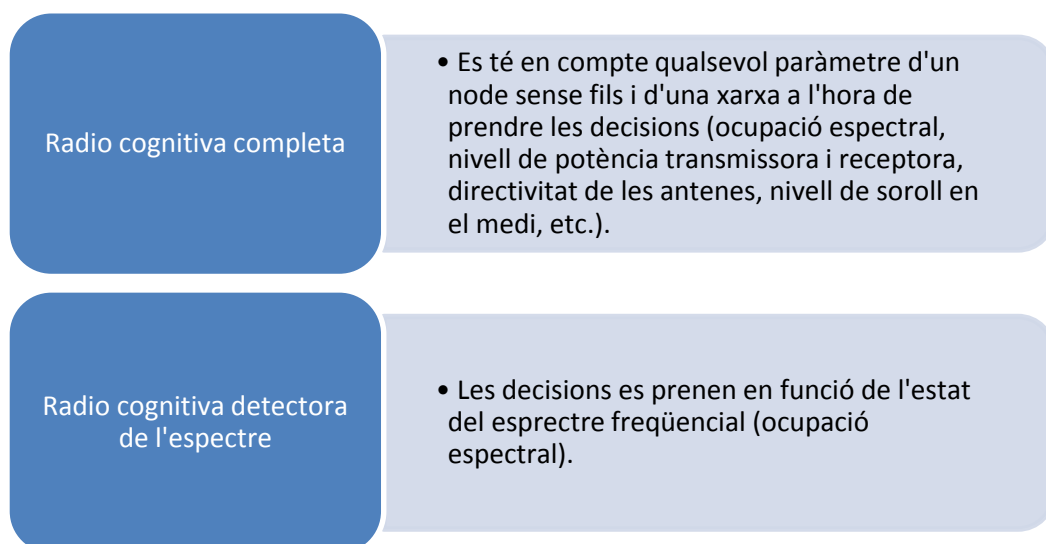
Figura 1: Esquema de funcionament d'un sistema cognitiu

Amb aquesta solució és vol que usuaris sense llicència puguin utilitzar bandes subjectes a autorització, assumint que no es provocaria cap interferència ja que si cap usuari legítim volgués transmetre, els usuaris

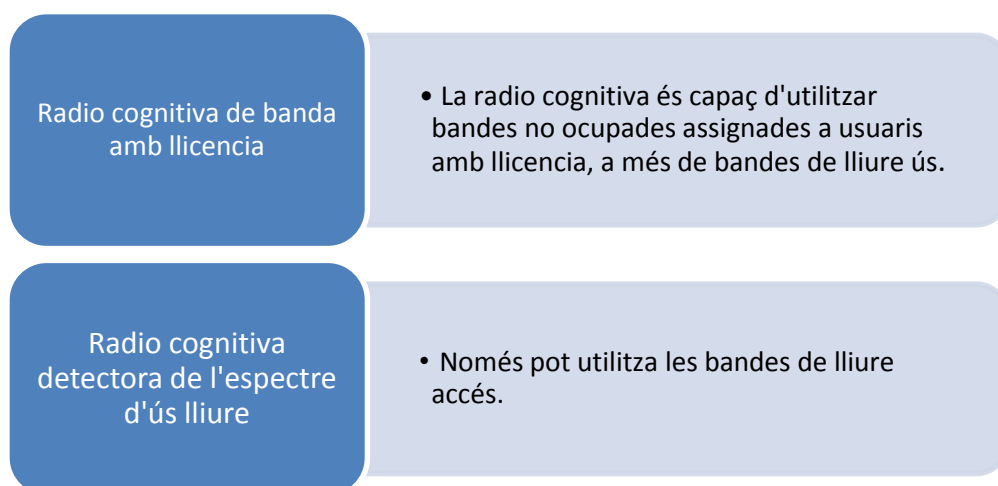
Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

sense llicència saltarien a altres bandes freqüencials desocupades per seguir transmeten, aprofitant els denominats "White spaces" o forats espectrals temporals en l'espectre electromagnètic.

Depenen del conjunt de paràmetres que la tecnologia utilitza a l'hora de prendre les decisions podem distingir dos tipus de radio cognitiva:



D'altra banda, podem diferenciar la radio cognitiva en funció de les parts de l'espectre radioelèctric disponible¹ :



¹ Bibliografia [1] i [2].

Les característiques d'una radio cognitiva són les següents:

- Detecció de l'espectre: Ha de ser capaç de detectar l'espectre en desús i utilitzar-lo sense provocar interferències a tercers, detectant els "white spaces" de l'espectre. Això és pot fer de diverses maneres:
 - a) Detecció de transmissors: Les ràdios cognitives han de ser capaces de detectar si hi ha algun senyal d'algun usuari que utilitza una part concreta de l'espectre.
 - b) Detecció basada en interferències.

A més, per millorar la probabilitat de detecció d'usuaris primaris i disminuir la probabilitat de falsa alarma també és pot utilitzar la detecció cooperativa. En la detecció cooperativa, els diferents usuaris de la ràdio cognitiva intercanvien periòdicament la seva informació dels usuaris transmissors que detecten.

- Administració de l'espectre: El sistema ha de ser capaç d'analitzar els diferents amples de banda disponibles i fer una assignació adequada a les necessitats de cada usuari segons diferents paràmetres de transmissió com poden ser: el retard, la probabilitat d'error, la distància...
- Mobilitat espectral: Aquest sistemes han de ser capaços de canviar constantment de banda, elegint la millor en cada moment, i això s'ha de fer d'una forma transparent per l'usuari final.
- Compartir l'espectre: Els usuaris d'aquest sistema han de compartir l'espectre d'una forma equitativa i justa, i no han d'interferir en els usuaris legítims de cada banda.

1.1.2. Pla dividend de l'espectre radioelèctric

El pla dividend espanyol de l'espectre radioelèctric consta d'un rang molt gran de freqüències, va des de 8,3 KHz fins als 3000 GHz. Aquest treball es centra en la banda més important pel que fa a la radiocomunicació, que va de 75,2 MHz fins 3100 MHz, ja que és una

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

banda amb bona capacitat de penetració en els edificis i de llarg abast. En aquest rang tenim un total de 116 serveis o sub-bandes, que estan llistades en el "Annex I – Espectre Radioelèctric: Bandes de freqüències" d'aquest treball.

Les diferents bandes s'han agrupat amb 13 rangs, procurant que fossin el més homogenis possible i d'una mida no superior a uns 320 MHz, els rangs resultants han estat els següents:

Rang de Freqüències (MHz)	Ampla de banda analitzat (MHz)
75.2 – 230	154.8
230 – 470	240.0
470 – 790	320.0
790 – 960	170.0
960 – 1240	280.0
1240 – 1559	319.0
1559 – 1710	151.0
² 1710 – 2025	315.0
2025 – 2300	275.0
2300 – 2500	200.0
2500 – 2700	200.0
2700 – 2900	200.0
2900 – 3100	200.0

S'ha escollit aquesta divisió perquè es disposava d'un analitzador d'espectre digital amb resolució de 32000 punts que permetia treballar amb una resolució espectral al voltant de 10 KHz. A més a més, aquesta

² La banda 8 s'ha dividit en dos, ja que entre els dos extrems de la banda hi havia una diferència del nivell de soroll al voltant de 1.5 dB's. Les sub-bandes resultants són de 1710 MHz – 1900 MHz (amb un nivell de soroll real de -95.6 dB) i de 1900 MHz – 2025 MHz (amb un nivell de soroll real de -94.1 dB).

divisió permet que els arxius de mesura resultants³ fossin més manejables en termes computacionals i no surtin arxius excessivament grans. Així mateix, fer-ho d'aquesta manera ha servit per mantindre el soroll homogeni en cada una de les bandes i no tenir problemes a l'hora de calcular la probabilitat d'estimació espectral errònia en cada una de les sub-bandes. Si no s'hagués separat seguint aquests paràmetres, hi hauria zones dintre d'una mateixa banda en les que el nivell del soroll tindria una major importància que en d'altres i no es podria garantir un valor del 1% de falsa alarma al llarg de tota la banda, que és la probabilitat d'estimació espectral errònia que es vol assumir a l'hora de prendre les mostres. D'aquesta manera, en les zones on tinguem poc soroll no descartarem la senyal útil, i així mateix, en zones on tinguem un nivell de soroll elevat, no donarem per bo nivells de senyal que en realitat són soroll. Per tant, com amb més nivells es divideix la banda total, millors aproximacions aconseguirem amb relació al nivell de soroll mitjà i per tant podrem fer aproximacions més bones de la probabilitat de falsa alarma.

1.2. Objectius d'aprenentatge

Els objectius que s'han buscat obtenir alhora de realitzar aquest treball han estat els següents:

- Adquirir coneixement de la tecnologia Cognitive Radio i dels forats espectrals (White Spaces).
- Adquirir coneixement pràctic i detallat d'un sistema per mesurar l'ocupació de l'espectre (Analitzador d'espectres, antena, sistema de control, etc.).
- Adquisició d'experiència en l'obtenció de mesures de l'espectre, definició dels paràmetres adequats per cada banda i anàlisi de l'ocupació espectral.

³ Les mostres de les senyals mesurades amb el analitzador d'espectres es guarden en arxius per el seu posterior processat.

1.3. Resultats esperats del projecte

Al llarg del treball es planteja fer una sèrie de mesures exhaustives de l'ocupació de l'espectre radioelèctric al Campus Nord per sota de 3GHz per posteriorment fer un anàlisi de l'eficiència de el seu ús. L'estudi es focalitza en els següents aspectes:

- Estudi dels paràmetres adequats en funció de la canalització en cada banda.
- Anàlisi de indicadors per mesurar l'eficiència d'ús de les diferents bandes (Duty Cycle, Power Spectrum Density -PSD, etc.).

Analitzant els resultats s'espera arribar a conclusions pel que fa al nivell d'ocupació de les diferents bandes així com el nivell d'ocupació d'aquestes al llarg del temps.

2. Metodologia de treball

La metodologia que s'ha seguit per realitzar aquest treball ha estat la següent:

2.1. Planificació

Primerament s'han analitzat els objectius del projecte i s'ha clarificat l'abast del mateix. L'abast definit ha estat el següent:

- Recopilar informació a mode de primera aproximació per entendre la tecnologia Cognitive Radio i els White Spaces.
- Adquirir un coneixement pràctic i detallat d'un sistema per mesurar l'ocupació de l'espectre (Analitzador d'espectres, antena, sistema de control...).
- Realització d'una taula on s'indiqui la distribució dels diferents serveis radiofònics i les freqüències que ocupen.
- Obtenció de mesures de l'espectre radioelèctric, per servir l'analitzador d'espectres FSL6 de Rohde&Schwarz. Aquest punt inclou la definició dels paràmetres adequats per cada banda i l'anàlisi de l'ocupació. Aquesta definició, rang de l'espectre i altres punts tècnics, s'explica en el apartat "3. Metodologia de mesures" d'aquest document.
- Processament de les dades obtingudes (mitjançant programes amb *matlab*).
- Extracció de conclusions i resultats en forma del present treball.

2.2. Estudi teòric

Per realitzar aquest treball, primerament s'ha realitzat un estudi teòric previ a la recollida de les dades. Aquest estudi comprèn:

- La recopilació d'informació per entendre que és i per a què serveix la Cognitive Radio i els White Spaces.

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

- Estudi teòric de la instrumentació i l'equip utilitzat gràcies a documentació interna del departament, concretament [4] Description of Spectrum Measurement Platform. Technical Report.

D'altra banda, en aquest apartat també s'ha aprofitat per realitzar la taula del "Annex 1.- Espectre Radioelèctric: Bandes de freqüències", on s'indica la distribució dels diferents serveis en l'espectre radiofònic d'interès (75.2 MHz – 3100 MHz), i els valors llindar teòrics i mesurats de la probabilitat de falsa alarma obtinguts fent servir funcions *matlab*, que s'han creat per aquest treball.

2.3. Familiarització amb la instrumentació

Durant un període d'aproximadament un mes, s'han realitzat un seguit de proves de pràctica per veure com es configuraven els diferents paràmetres de l'analitzador i així veure com aquest reaccionava amb diverses configuracions. Aquest període ha servit per familiaritzar-se amb l'analitzador d'espectres, així com amb els diferents paràmetres de configuració i ens ha permès escollir la configuració més òptima per la posterior recollida de dades.

També s'ha realitzat l'estudi i la familiarització del software que permet monitoritzar l'analitzador remotament i guardar les dades recopilades a través d'un ordinador portàtil. Aquest software, creat expressament per aquest analitzador, és relativament nou (fou creat per un alumne de la UPC en un projecte anterior) i pel fet de no tenir documentació de suport feia que fos necessari una comprensió a fons del programa, abans de realitzar la recopilació de dades, per així entendre i poder solucionar futurs problemes.

2.4. Muntatge de l'equipament

Un cop familiaritzat amb tot l'equip necessari per la realització del projecte, s'ha realitzat el muntatge d'aquest a una antena exterior. L'antena triada per la recollida de dades ha estat una antena omnidireccional, ubicada al terrat del edifici D4 del Campus Nord de UPC i amb visió directa a la torre de Collserola. S'ha triat aquesta ubicació de l'antena de mesura perquè manté condicions de visió directa (LOS) per una ampla regió de la ciutat de Barcelona i de la comarca del Baix Llobregat que inclou, entre altres punts rellevants, el port de Barcelona i el seu aeroport. Explicarem més detalladament les característiques de la antena i del muntatge de mesures en el punt "3. Metodologia de mesures".

2.5. Recopilació de dades

El següent punt que s'ha seguit per la realització d'aquest projecte ha estat la recopilació de les dades.

Com s'ha indicat en el punt "2.3. Familiarització amb la instrumentació", per realitzar la monitorització remota de l'analitzador d'espectres i poder guardar les dades, s'ha utilitzat un software creat en un projecte fi de carrera anterior. Tot i això, degut a que aquest software és va crear per a una finalitat i un projecte en concret, el programa s'ha hagut de modificar per tal de que servís pels propòsits d'aquest projecte.

El que s'ha modificar del programa base han estat bàsicament dos punts.

- a) Per aquest projecte es volia que l'analitzador realitzés un escanament de les freqüències dintre del rang de 75.2 MHz – 3100 MHz amb un total de 13 salts (el rang de cada salt està indicat en el punt "Annex 1.- Espectre Radioelèctric: Bandes de freqüències"). El programa base permetia realitzar un escanament de freqüències però cada salt

havia de tenir el mateix rang. Per aquest projecte s'ha modificat aquesta part del codi per tal de que el rang dels salts sigues el que volíem en cada cas. Com s'ha comentat anteriorment, s'han escollit 13 rangs el més homogenis possible i agafant serveis sencers (per exemple un dels rangs es tracta del servei del de servei de televisió 470 MHz – 790 MHz).

- b) D'altra banda, com que es volia fer recopilacions de dades setmanals (i això implicaria mides de fitxers molt grans), s'ha modificat la forma com es guarden les dades per tal d'anar guardant matrius de dades en fitxers no superiors a 5 MBytes, enlloc d'un únic fitxer molt pesat on es guardessin totes les dades.

Un cop modificat el programa, s'ha procedit a la recopilació de la informació. Això s'ha realitzat en dos fases:

1. Primerament, s'ha deixat l'analitzador tot un dia prenent dades, concretament el dia 11/06/2015.
2. La següent mesura realitzada ha estat més extensa. S'ha deixat que l'analitzador pregués dades durant tota una setmana. La setmana triada va ser la setmana del 07/07/2015 al 13/07/2015.

2.6. Anàlisi de punts crítics

Durant la familiarització de l'equipament i la recopilació de les dades, han sorgit diversos problemes o imprevistos que s'han anat corregint per aportar solucions i així garantir la integritat de les dades. Aquest punt ha sigut especialment complicat ja que és difícil valorar si els resultats que s'han obtingut són o no són els esperats i quina és la causa d'aquestes variacions. En aquest punt, d'interpretació dels resultats, hi ha tingut paper molt d'estacat l'experiència del tutor del projecte (Ferran Casadevall) ja que amb els seus coneixements s'han pogut interpretar molt millor els resultats i analitzar les causes de les variacions esperades teòricament.

2.7. Programa de processat de dades

Per poder realitzar un anàlisis i extreure conclusions de les dades obtingudes s'ha fet un processament d'aquestes.

Pel que fa al processament de les dades, s'han realitzat diversos programes/funcions mitjançant el programa *matlab* per poder analitzar els resultats i extreure'n les posteriors conclusions. Aquestes funcions van des de l'agrupació de les dades per tal de que sigui més fàcil realitzar operacions amb elles fins a funcions per poder extreure la funció de densitat acumulativa de les potències de senyal rebudes en un determinat rang de freqüències.

2.8. Anàlisis de la informació

Un cop fet l'estudi teòric, la recopilació de la informació, l'obtenció de les dades i el processat de les mateixes el que s'ha fet és analitzar els resultats obtinguts i veure si aquests són coherents o no. Si s'ha considerat que no són, s'han buscat els motius pels quals fallava l'obtenció d'aquestes dades i s'ha intentat donar resposta al per què no són coherents els resultats obtinguts. Un cop realitzats els canvis necessaris, s'ha tornat a repetir el procés d'obtenció i processat de dades per veure un altre cop la coherència de les mateixes.

Si per contra, s'ha determinat que els resultats obtinguts eren versemblants, s'han interpretat i s'han extret les diferents gràfiques que han conformat aquest treball. S'ha intentat respondre a la pregunta "*Què ens diuen els resultats obtinguts?*".

2.9. Conclusió

Finalment, després d'analitzar la informació, s'ha explicat a quines conclusions s'ha arribat al llarg del desenvolupament d'aquest treball i després d'observar i comentar els resultats.

3. Metodologia de mesures

Per realitzar el set-up dels aparells utilitzats s'ha realitzat un muntatge a l'interior de l'edifici D4 del campus Nord, utilitzant una antena omnidireccional tipus discono AOR DN753 polaritzada verticalment, un analitzador d'espectres i un ordinador portàtil. El muntatge és el següent:



Imatge 1: Muntatge per establir el set-up dels aparells.

3.1. Set-up analitzador

L'aparell que requeria d'un major temps i estudi per la seva posada a punt ha sigut l'analitzador d'espectres, ja que, disposa de molts paràmetres que són essencials per a la recollida de les dades. L'aparell es tracta d'un analitzador d'espectres R&S FSL6, amb una banda d'operació freqüencial que va des dels 9 KHz fins als 6 GHz. Es tracta d'un aparell de mesura molt precís ja que els filtres RBW (Resolution Bandwidth) i VBW (vídeo Bandwidth) permeten una gran resolució.

Els paràmetres a configurar de l'analitzador són:

- Freqüència Central del Canal.
- Ample de Banda del Canal.
- Tipus de mitjana.
- Número de Punts.
- Ample de Banda de Resolució (RBW).
- Ample de Banda de Vídeo (VBW).

- Nivell de Referència (dB).
- Preamplificador.
- Atenuació d'entrada.
- Quantitat de Traces.

En aquest projecte, la configuració de l'analitzador s'ha fet mitjançant un cable d'ethernet. Els valors dels paràmetres més importants són els següents:

	Paràmetre	Valor
Freqüència	Freqüència central	variable
Filtratge	Resolution BW (KHz)	10
	Vídeo BW (KHz)	30.000
Tipus de traça	Single sweep	On
	Average	off
Escombrat de l'analitzador	Number of Points	variable
Paràmetres d'amplitud	RF attenuation	0dB
	Ref. level	-25 dB
	Preamplifier	off

Taula 1: Taula del set-up de l'analitzador d'espectres

S'ha decidit triar aquests paràmetres per garantir la correcta obtenció de les dades. La freqüència central varia 13 vegades (en funció de la sub-banda de freqüència que es vol mesurar).

S'ha decidit posar un filtre de resolució de 10 KHz per tal de tenir una resolució suficient per poder observar i mesurar els canals amb amples de banda més petits (per exemple, canals de comunicació marítima en FM de 25 KHz). Pel que fa el filtre de vídeo, és un paràmetre amb poca influència en el estudi a realitzar, i s'ha decidit ficar un valor seguint recomanacions d'altres treballs anteriors.

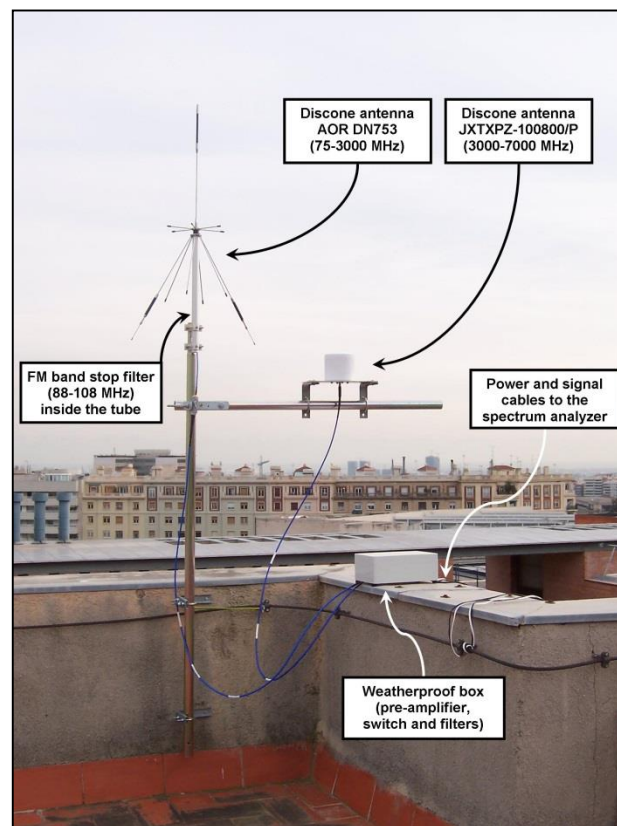
Pel que fa al número de punts, s'ha seguit la següent relació:

$$\text{SPAN} < \text{RBW} * \text{Num.punts}$$

Com que el filtre RBW és fixe i el SPAN pren un valor variable (segons en quin rang de freqüències dels 13 possibles ens trobem) el número de punts també varia. Per exemple, en un rang que tingui 320 MHz de SPAN, el número de punts serà 32.000.

3.2. Antena de Mesures

Com ja s'ha comentat anteriorment, l'antena receptora es tracta d'una antena AOR DN753 polaritzada verticalment amb un diagrama omnidireccional. El rang de treball de l'antena està entre els 75 MHz i 3 GHz, que corresponen precisament els rang que s'ha volgut analitzar en aquest treball.



Imatge 2: Antena receptora utilitzada

3.3. Mesura soroll

Per poder processar la senyal rebuda per l'antena ha estat necessari conèixer el nivell de soroll de cada sub-banda (ja que el nivell de soroll i per tant el llindar de detecció varia segons la freqüència). Això s'ha fet per poder discriminar entre la senyal útil i el soroll, es a dir, per veure si el nivell de senyal que es rebia en una certa banda corresponia a senyal útil captada per l'antena o era soroll.

Els passos que s'han seguit per calcular el nivell de soroll han estat els següents:

- 1) S'ha mesurat el nivell de potència que proporciona l'analitzador d'espectre al col·locar a la seva entrada una carga de 50 Ohms.
- 2) De forma teòrica s'ha mirat la forma de la funció distribució estadística del soroll. S'ha considerat que es tracta soroll blanc gaussià, per tant, la forma de la distribució que s'ha considerat ha estat Normal o Gaussiana.
- 3) Amb l'eina de *matlab disttool*, s'ha calculat els paràmetres teòrics que s'haurien d'obtenir per què donés com a resultat un valor de la funció de distribució de la probabilitat de falsa alarma igual a 1%⁴.

Es a dir :

$$P(n > n_T) = (\# \text{ mostres soroll per sobre el llindar}) / (\# \text{ mostres totals}) = 0,01$$

⁴ Equival a dir que tindrem un error degut al soroll a una mostra de cada 100.

Això es equivalent a buscar el nivell de soroll que garanteix que no es supera en el 99 % dels casos, es a dir, que la funció de distribució acumulativa pren un valor de 0,99, tal com es representa en la següent figura.

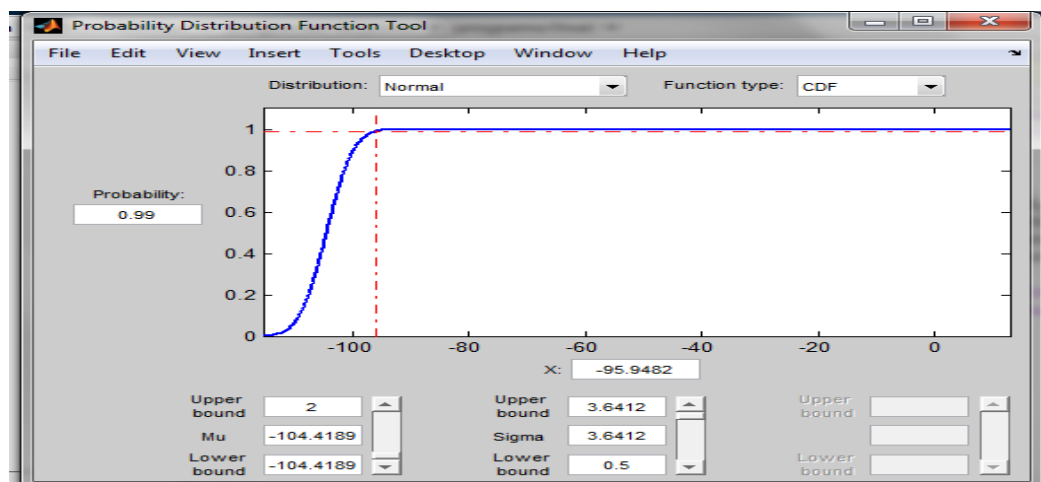


Figura 2: Valors teòrics de la funció de distribució

D'aquesta funció s'ha obtingut el paràmetre teòric del llinard de soroll.

- 4) Amb el càlcul del llinard mesurat, s'ha observat la forma de la funció de distribució de les mostres de soroll que s'han obtingut a cada banda. S'ha observat que aquest no és exactament una gaussiana sinó que és una funció que s'aproxima a una gaussiana esbiaixada, com es pot observar en la següent figura:

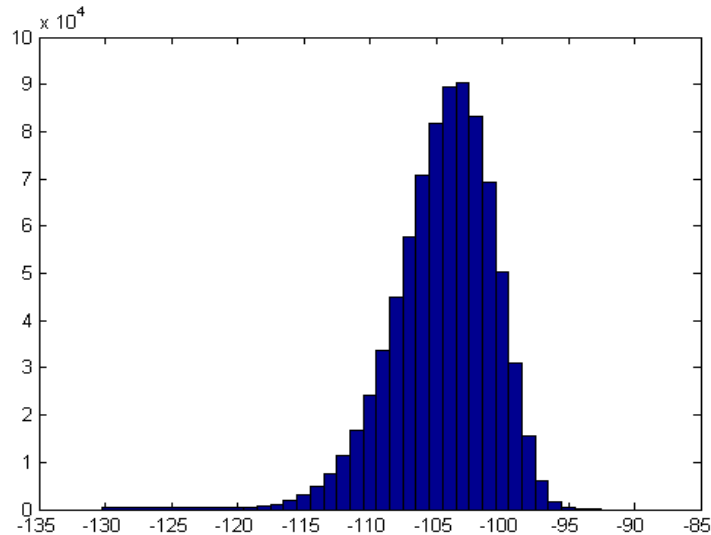


Figura 3: Histograma de les mostres del soroll del rang entre 790 - 960 MHz

Teòricament, a partir del histograma de les mostres de soroll s'hauria de buscar quin és el nivell llindar que ens garanteix que sols un 1% de les mostres mesurades el superen. Aquest seria el llindar mesurat ó llindar real. No obstant, per tal d'ajustar el màxim possible el valor teòric i el valor mesurat del llindar, s'ha seguit el procediment que s'explica en el següent punt.

- 5) A partir del paràmetre teòric, s'ha creat una funció amb *matlab* (veure al "Annex III Funcions matlab l'apartat on es mostra el codi de la funció "comprovació") que comprova si el percentatge teòric (que el 99 % de mostres fossin inferiors al nivell del llindar elegit) coincidia amb el valor obtingut amb l'analitzador (que només hi hagués un 1 % de les mostres obtingudes amb la carga de 50 Ohms superior al nivell elegit). L'aproximació ha sortit bastant correcta, tot i així, s'ha ajustat aquest paràmetre a través d'un procediment de prova i error per arribar a un nivell llindar òptim.

Gràcies a aquest estudi s'ha arribat a la conclusió que totes les mostres amb un nivell de potència per sota el llindar de la banda seleccionada

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

eren soroll, i per contra les mostres amb més potencia s'han considerat com a senyal útil.

D'aquest estudi s'ha obtingut la següent taula:

Banda (MHz)	Nivell llindar teòric (dBm)	Nivell llindar real (dBm)
75.2 – 230	-96.8145	-97.85
230 – 470	-96.0853	-97.1
470 – 790	-95.8148	-96.9
790 – 960	-95.9946	-97
960 – 1240	-95.674	-96.8
1240 – 1559	-94.5938	-95.6
1559 – 1710	-94.5289	-95.6
⁵ 1710 – 2025	-93.8297	-94.8
2025 – 2300	-91.5229	-92.6
2300 – 2500	-92.151	-93.2
2500 – 2700	-93.2412	-93.3
2700 – 2900	-93.2882	-94.3
2900 – 3100	-92.9724	-94

Taula 2: Nivell llindar de les sub-bandes analitzades

⁵ S'han mirat que el nivell de soroll sigues constant per cada subbanda. La banda de 1710 MHz - 2025 MHz s'ha hagut de dividir en dos per tal de mantenir constant el nivell. La divisió resultant ha estat:

- 1) 1710 MHz – 1900 MHz → teòric=-94.5748 dBm; real=-95.6 dBm
- 2) 1900 MHz – 2025 MHz → teòric=-93.0873 dBm; real=-94.1 dBm

4. Descripció de les mesures i la mètrica

En aquest treball bàsicament el que s'ha intentat estudiar ha estat l'ocupació espectral d'un determinat rang de freqüències, per així poder extreure la conclusió de si en aquests canals s'hi podrien encabir altres sistemes en els moments de menys activitat. Les mesures que s'han decidit realitzar han estat de dos tipus:

1. Primer s'han decidit agafar i fer un estudi del rang de freqüències que va des de 75,2 MHz fins a 3100 MHz. Amb aquestes mostres s'ha volgut observar quin és el grau d'ocupació que hi ha veritablement en aquest rang (que segons el B.O.E. està pràcticament tot ocupat). Per veure l'ocupació d'aquests canals, el dia 11/06/2015 s'ha realitzat un estudi, recollint les dades que ens proporcionava l'antena de mesura i s'ha fet un anàlisi del nivell de potència i el nivell del cicle de treball (duty cycle) dels diversos rangs⁶.

Per cada sub-banda, el cicle de treball s'ha definit com la relació de mostres mesurades per sobre del llindar respecte al nombre de mostres total mesurades en la sub-banda.

Amb aquest estudi s'intentarà arribar a la conclusió de si veritablement estan tots els canals ocupats com segons s'indica al B.O.E. o si en canvi hi ha un desaprofitament dels radio-canalos.

2. D'altra banda, també s'ha volgut fer un estudi específic de certs sistemes. En concret, els sistemes de comunicacions mòbils que es troben en les bandes de 900 MHz, 1800 MHz i 2100 MHz. En aquestes bandes trobem sistemes com els de GSM, DCS1800, el 4G o l'UMTS. El que s'ha intentat analitzar és l'evolució temporal del nivell de potència d'aquests sistemes al llarg d'una setmana. Per fer-ho s'han agafat mostres setmanals al voltant d'aquestes freqüències, i s'ha realitzat un

⁶ Com s'ha dit anteriorment, s'ha dividit el rang total en 13 sub-bandes.

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

estudi de les dades obtingudes, per així intentar extreure'n conclusions. S'ha intentat validar si l'ocupació era constant al llarg de tota la setmana o si hi havia hores amb més potència que d'altres. Si s'arribés a la conclusió en que hi ha hores on aquests sistemes no ocupen el canal, això podria donar lloc a encabir-hi altres sistemes de forma temporal.

3. Finalment, s'ha realitzat un estudi estadístic per observar el comportament dels usuaris legítims (amb llicència) o usuaris primaris d'un rang determinat de freqüències.

En particular s'han considerat les bandes de 138 MHz - 144 MHz, 174 MHz - 195 MHz i 410 MHz - 430 MHz, que són bandes assignades al servei Mòbil terrestre, però no s'utilitzen per sistemes de comunicacions mòbils com GSM, UMTS o LTE.

5. Resultats

Per extreure el resultat d'aquest treball s'ha agafat les mostres provinents de l'antena de mesures en dos moments diferents. Primerament, com s'ha mencionat en els punt anteriors, s'han agafat mostres del dia 11/06/2015. S'ha deixat l'analitzador tot un dia recollint mostres del rang entre 75,2 MHz i 3100 MHz. Posteriorment, s'han pres mostres al llarg d'una setmana, focalitzant les bandes de 900 MHz, 1800 MHz i 2100 MHz. S'ha volgut centrar-se en aquestes bandes per veure els sistemes de GSM, UMTS, DSC1800 i 4G que hi operen i veure quin és el seu comportament al llarg de tota una setmana. Tot seguit es mostren les gràfiques obtingudes en l'estudi.

5.1. Anàlisi de l'Ocupació Espectral

En les següents gràfiques es mostren els resultat de la ocupació espectral obtinguda al mesurar cada una de les 13 sub-bandes que hem considerat en el estudi.

5.1.1. Banda entre 75 MHz i 230 MHz

En aquesta banda s'ubiquen els següents serveis:

1. **Fijo Móvil** .- Compren la banda de 75,2 MHz a 87,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació molt baix, de fet el seu cycle de treball es 0,7681%. Degut al baix nivell d'ocupació, aquesta banda seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
2. **Radiodifusión** .- Compren la banda de 87,5 MHz a 108 MHz, presenta un nivell d'ocupació molt gran, de fet el seu cycle de treball es pràcticament del 30,6888 %. Observis que els nivells de senyal rebuda son molt grans entre -40 i -60 dBm, lo que es lògic ja que el punt emissor d'aquest servei es l'antena de Collserola, que es troba al voltant de 1,5 Km respecte al punt de mesura i en visió directa (LOS) .

3. **Radionavegación Aeronautica.-** Compren la banda de 108 MHz a 117,975 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, de fet el seu cicle de treball es 2,4279%, lo que es lògic, ja que des de el punt de mesura es te visió directa amb el Aeroport de Barcelona i per tant la antena de mesura capta amb força precisió el nivell rebut d'aquest servei. Observis que encara que tenim forats espectral (White Spaces), aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut a que es tracta d'un sistema de comunicació crític, que en cap mesura pot ser interferit.
4. **Móvil Aeronáutico.-** Compren la banda de 117,975 MHz a 137 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,3392 %. Igual que la banda anterior, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut a que es tracta d'un sistema de comunicació crític, que en cap cas podria ser interferit.
5. **Operaciones Espaciales.-** Compren la banda de 137 MHz a 137,025 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6124 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
6. **Meteorología por Satélite.-** Compren la banda de 137 MHz a 137,025 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6124 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
7. **Investigación Espacial.-** Compren la banda de 137 MHz a 137,025 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6124 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
8. **Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 137 MHz a 137,025 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6124 %.

Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).

9. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 137 MHz a 137,025 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6124 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
10. **Operaciones Espaciales.**- Compren la banda de 137,025 MHz a 137,175 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7572 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
11. **Meteorología por Satélite.**- Compren la banda de 137,025 MHz a 137,175 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7572 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
12. **Investigación Espacial.**- Compren la banda de 137,025 MHz a 137,175 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7572 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
13. **Móvil por Satélite.**- Compren la banda de 137,025 MHz a 137,175 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7572 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
14. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 137,025 MHz a 137,175 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7572 Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per

sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).

15. **Operaciones Espaciales.**- Compren la banda de 137,175 MHz a 137,825 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el se cicle de treball és 2,2796 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
16. **Meteorología por Satélite.**- Compren la banda de 137,175 MHz a 137,825 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,2796 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
17. **Móvil por Satélite.**- Compren la banda de 137,175 MHz a 137,825 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,2796 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
18. **Investigación Espacial.**- Compren la banda de 137,175 MHz a 137,825 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,2796 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
19. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 137,175 MHz a 137,825 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,2796 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
20. **Operaciones Espaciales.**- Compren la banda de 137,825 MHz a 138 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6840 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que

no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

21. **Meteorologia por Satélite.**- Compren la banda de 137,825 MHz a 138 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6840 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
22. **Investigación Espacial.**- Compren la banda de 137,825 MHz a 138 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6840 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
23. **Móvil por Satélite.**- Compren la banda de 137,825 MHz a 138 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6840 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
24. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 137,825 MHz a 138 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6840 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
25. **Móvil Aeronáutico.**- Compren la banda de 138 MHz a 143,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9646 %. Malgrat això, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius, ja que es tracta d'un sistema crític.
26. **Móvil Terrestre.**- Compren la banda de 138 MHz a 143,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9646 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb sistemes crítics.

- 27. Mòvil Marítimo.-** Compren la banda de 138 MHz a 143,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació 1,9646 %. Aquesta banda és utilitzada per comunicacions mòbils marítimes, que no poden ser intercedides per altres sistemes, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 28. Mòvil Aeronàutic.-** Compren la banda de 143,6 MHz a 143,65 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1451 %. Malgrat això, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius, ja que es tracta d'un sistema crític.
- 29. Investigación Espacial.-** Compren la banda de 143,6 MHz a 143,65 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1451 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb sistemes crítics.
- 30. Mòvil Terrestre.-** Compren la banda de 143,6 MHz a 143,65 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1451 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb sistemes crítics.
- 31. Mòvil Marítimo.-** Compren la banda de 143,6 MHz a 143,65 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1451 %. Aquesta banda és utilitzada per comunicacions mòbils marítimes, que no poden ser intercedides per altres sistemes, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 32. Mòvil Aeronàutic.-** Compren la banda de 143,65 MHz a 144 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,1759 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que es tracta d'un sistema crític.
- 33. Mòvil Terrestre.-** Compren la banda de 143,65 MHz a 144 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,1759 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb sistemes crítics.

- 34. Mòvil Marítimo.-** Compren la banda de 143,65 MHz a 144 MHz, presenta un nivell d'ocupació el seu cicle de treball és 3,1759 %. Aquesta banda és utilitzada per comunicacions mòbils marítimes, que no poden ser intercedides per altres sistemes, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 35. Aficionados.-** Compren la banda de 144 MHz a 146 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix 3,5809 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que és utilitzada per radioaficionats.
- 36. Aficionados por Satélite.-** Compren la banda de 144 MHz a 146 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,5809 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que és utilitzada per radioaficionats.
- 37. Fijo Mòvil.-** Compren la banda de 146 MHz a 148 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9906 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 38. Fijo Mòvil.-** Compren la banda de 148 MHz a 149,9 MHz, presenta un nivell d'ocupació 2,3931 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 39. Mòvil por Satélite.-** Compren la banda de 148 MHz a 149,9 MHz, presenta un nivell d'ocupació 2,3931 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 40. Mòvil por Satélite.-** Compren la banda de 149,9 MHz a 150,05 MHz, presenta un nivell d'ocupació baixa, el seu cicle de treball és 2,1191 %. Aquesta banda comparteix freqüències amb sistemes de radionavegació per satèl·lit, per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 41. Radionavegación por Satélite.-** Compren la banda de 149,9 MHz a 150,05 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,1191 %. Aquesta banda no seria una candidata a ser utilitzada

per sistemes cognitius ja que s'utilitza per sistemes de radionavegació que poden ser crítics.

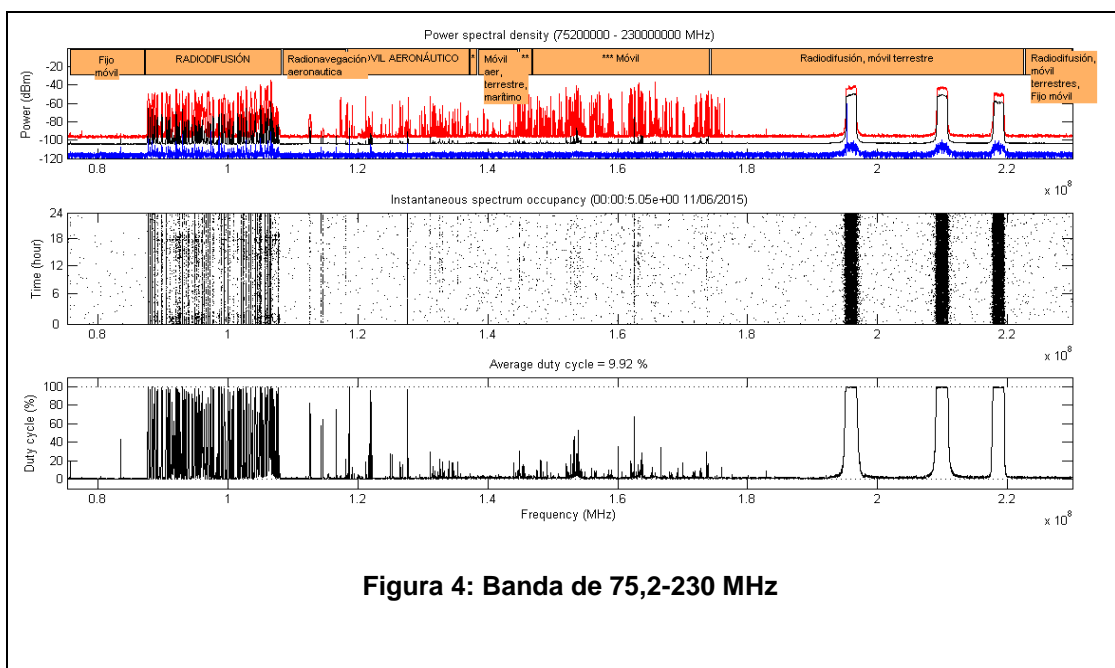
42. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 150,05 MHz a 153 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,9037 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
43. **Radioastronomía.**- Compren la banda de 150,05 MHz a 153 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,9037 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
44. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 153 MHz a 154 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 10,2093 %. Amb comparació amb altres bandes, aquesta presenta una major activitat, per tant, no seria una candidata a ser utilitzades per sistemes cognitius.
45. **Ayudas a la meteorología.**- Compren la banda de 153 MHz a 154 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 10,2093 %. Amb comparació amb altres bandes, aquesta presenta una major activitat, per tant, no seria una candidata a ser utilitzades per sistemes cognitius.
46. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 154 MHz a 156,4875 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,6309 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
47. **Móvil Marítimo (socorro y llamadas por LLSD).**- Compren la banda de 156,4875 MHz a 156,5625 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 4,6027 %. Degut a que s'utilitza per comunicacions d'emergència, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
48. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 156,5625 MHz a 156,7625 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix 4,1412 %. Degut a que comparteix banda amb un sistema crític (el de trucades d'emergència i trucades

LLSD de mòbil marítim), aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

49. **Móvil Marítimo.**- Compren la banda de 156,7625 MHz a 156,7875 MHz, presenta un nivell d'ocupació 1,0365 %. Aquesta banda és utilitzada per comunicacions mòbils marítimes, que no poden ser intercedides per altres sistemes, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
50. **Móvil por Satélite.**- Compren la banda de 156,7625 MHz a 156,7875 MHz, presenta un nivell d'ocupació 1,0365 %. Comparteix banda amb mòbil marítim, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
51. **Móvil Marítimo (socorro y llamada).**- Compren la banda de 156,7875 MHz a 156,8125 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,0072 %. Degut a que s'utilitza per comunicacions d'emergència, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
52. **Móvil Marítimo.**- Compren la banda de 156,8125 MHz a 156,8375 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8263 %. Aquesta banda és utilitzada per comunicacions mòbils marítimes, que no poden ser intercedides per altres sistemes, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
53. **Móvil por Satélite.**- Compren la banda de 156,8125 MHz a 156,8375 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8263 %. Tot i així, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que comparteix freqüència amb comunicacions mòbils marítimes.
54. **Fijo Móvil.**- Compren la banda de 156,8375 MHz a 161,9625 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,92 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

55. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 161,9625 MHz a 161,9875 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 15,94 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut a la seva elevada ocupació.
56. **Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 161,9625 MHz a 161,9875 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 15,94 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut a la seva elevada ocupació.
57. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 161,9875 MHz a 162,0125 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 6,9760 %. Aquesta banda no seria la millor per ser utilitzada per sistemes cognitius degut al seu nivell d'ocupació.
58. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 162,0125 MHz a 162,0375 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 17,9664 %. Aquesta banda no seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius degut al seu nivell d'ocupació.
59. **Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 162,0125 MHz a 162,0375 MHz, presenta un nivell d'ocupació 17,9664 %. Aquesta banda no seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius degut al seu nivell d'ocupació.
60. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 162,0375 MHz a 174 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,0932 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
61. **Radiodifusión.-** Compren la banda de 174 MHz a 223 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 14,5088 %. Aquesta banda no seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius degut al seu nivell d'ocupació.
62. **Móvil Terrestre.-** Compren la banda de 174 MHz a 223 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 14,5088 %. Aquesta banda no seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius degut al seu nivell d'ocupació.

- 63. Radiodifusió.-** Compren la banda de 223 MHz a 230 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8738 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 64. Mòvil Terrestre.-** Compren la banda de 223 MHz a 230 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8738 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 65. Fijo Mòvil.-** Compren la banda de 223 MHz a 230 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8738 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.



5.1.2. Banda entre 230 MHz i 470 MHz

- 66. Fijo Mòvil.-** Compren la banda de 230 MHz a 235 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,6979 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 67. Fijo Mòvil.-** Compren la banda de 235 MHz a 267 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,8657 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 68. Fijo Mòvil.-** Compren la banda de 267 MHz a 272 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,9289 %. Malgrat

això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).

69. **Operaciones Espaciales.-** Compren la banda de 267 MHz a 272 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,9289 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
70. **Operaciones Espaciales.-** Compren la banda de 272 MHz a 273 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,9526 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
71. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 272 MHz a 273 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,9526 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
72. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 273 MHz a 312 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0018 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
73. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 312 MHz a 315 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0214 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
74. **Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 312 MHz a 315 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0214 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
75. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 315 MHz a 322 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0124 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.

76. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 322 MHz a 328,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0421 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
77. **Radioastronomia.-** Compren la banda de 322 MHz a 328,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0421 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
78. **Radionavegación Aeronáutica.-** Compren la banda de 328,6 MHz a 335,4 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,9809 %. Tot i així, en aquesta banda hi ha sistemes de radionavegació crítics i no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
79. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 335,4 MHz a 387 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0055 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
80. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 387 MHz a 390 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0016 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
81. **Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 387 MHz a 390 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0016 %. Aquesta banda seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius.
82. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 390 MHz a 399,9 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 19,3519 %. Per tant, aquesta banda no seria candidata per ser utilitzada per sistemes cognitius degut al seu elevat nivell d'ocupació.
83. **Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 399,9 MHz a 400,05 MHz, presenta un nivell d'ocupació baixa, el seu cicle de treball és 1,5926 %. Malgrat el seu nivell d'ocupació, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix freqüència amb sistemes crítics (Radionavegación por Satélite).

- 84. Radionavegación por Satélite.-** Compren la banda de 399,9 MHz a 400,05 MHz, presenta un nivell d'ocupació baixa, el seu cicle de treball és 1,5926 %. Malgrat el seu nivell d'ocupació, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 85. Frecuencias Patrón y Señales por Satélite.-** Compren la banda de 400,05 MHz a 400,15 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1747 %. Malgrat el seu nivell d'ocupació, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que les senyals patró són senyals constants en el temps i necessàries per sincronitzar els sistemes radio.
- 86. Ayudas a la Meteorología.-** Compren la banda de 400,15 MHz a 401 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0789 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
- 87. Meteorología por Satélite.-** Compren la banda de 400,15 MHz a 401 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0789 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
- 88. Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 400,15 MHz a 401 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0789 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
- 89. Investigación Espacial.-** Compren la banda de 400,15 MHz a 401 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0789 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).

- 90. Operaciones Espaciales.-** Compren la banda de 400,15 MHz a 401 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0789 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 91. Ayudas a la Meteorología.-** Compren la banda de 401 MHz a 402 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1639 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
- 92. Operaciones Espaciales.-** Compren la banda de 401 MHz a 402 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1639 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 93. Exploración de la Tierra por Satélite.-** Compren la banda de 401 MHz a 402 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1639 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
- 94. Meteorología por Satélite.-** Compren la banda de 401 MHz a 402 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1639 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).
- 95. Fijo Móvil.-** Compren la banda de 401 MHz a 402 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1639 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva ja que comparteix banda amb un sistema crític (operacions espacials).

- 96. Ayudas a la Meteorología.-** Compren la banda de 402 MHz a 403 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1333 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 97. Meteorología por Satélite.-** Compren la banda de 402 MHz a 403 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1333 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 98. Exploración de la Tierra por Satélite.-** Compren la banda de 402 MHz a 403 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1333 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 99. Fijo Móvil.-** Compren la banda de 402 MHz a 403 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1333 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 100. Ayudas a la Meteorología.-** Compren la banda de 403 MHz a 406 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1978 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 101. Fijo Móvil.-** Compren la banda de 403 MHz a 406 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1978 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 102. Móvil por Satélite.-** Compren la banda de 406 MHz a 406,1 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3524 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 103. Fijo Móvil.-** Compren la banda de 406,1 MHz a 410 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4261 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 104. Radioastronomía.-** Compren la banda de 406,1 MHz a 410 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4261 %.

Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

105. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 410 MHz a 420 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,2674 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
106. **Investigación Espacial.-** Compren la banda de 410 MHz a 420 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,2674 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
107. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 420 MHz a 430 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 28,1947 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut al seu elevat nivell d'ocupació.
108. **Radiolocalización.-** Compren la banda de 420 MHz a 430 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 28,1947 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut al seu elevat nivell d'ocupació.
109. **Aficionados.-** Compren la banda de 430 MHz a 432 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4975 %. Aquest sistema comparteix banda amb un sistema crític (radiolocalització), per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
110. **Radiolocalización.-** Compren la banda de 430 MHz a 432 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu nivell d'ocupació és 1,4975 %. Aquest sistema és crític i no pot ser interferit, per tant, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
111. **Aficionados.-** Compren la banda de 432 MHz a 438 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,3514 %. Aquest sistema comparteix banda amb un sistema crític (radiolocalització), per

tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

112. **Radiolocalización.-** Compren la banda de 432 MHz a 438 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,3514 %. Aquest sistema és crític i no pot ser interferit, per tant, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
113. **Aficionados.-** Compren la banda de 438 MHz a 440 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,0582 %. Aquest sistema comparteix banda amb un sistema crític (radiolocalització), per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
114. **Radiolocalización.-** Compren la banda de 438 MHz a 440 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,0582 %. Aquest sistema és crític i no pot ser interferit, per tant, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
115. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 440 MHz a 450 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 4,0204 %. Aquest sistema comparteix banda amb un sistema crític (radiolocalització), per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
116. **Radiolocalización.-** Compren la banda de 440 MHz a 450 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 4,0204 %. Aquest sistema és crític i no pot ser interferit, per tant, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
117. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 450 MHz a 455 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,0423 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
118. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 455 MHz a 456 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,0780 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

119. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 456 MHz a 459 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,0132 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
120. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 459 MHz a 460 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7996 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
121. **Fijo Móvil.-** Compren la banda de 460 MHz a 470 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 5,4386 %. Degut al seu nivell d'ocupació moderat, i al estar compartida per la meteorologia per satèl·lit no seria una bona candidata d'inici per ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
122. **Meteorología por Satélite.-** Compren la banda de 460 MHz a 470 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 5,4386 %. Degut al seu nivell d'ocupació, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

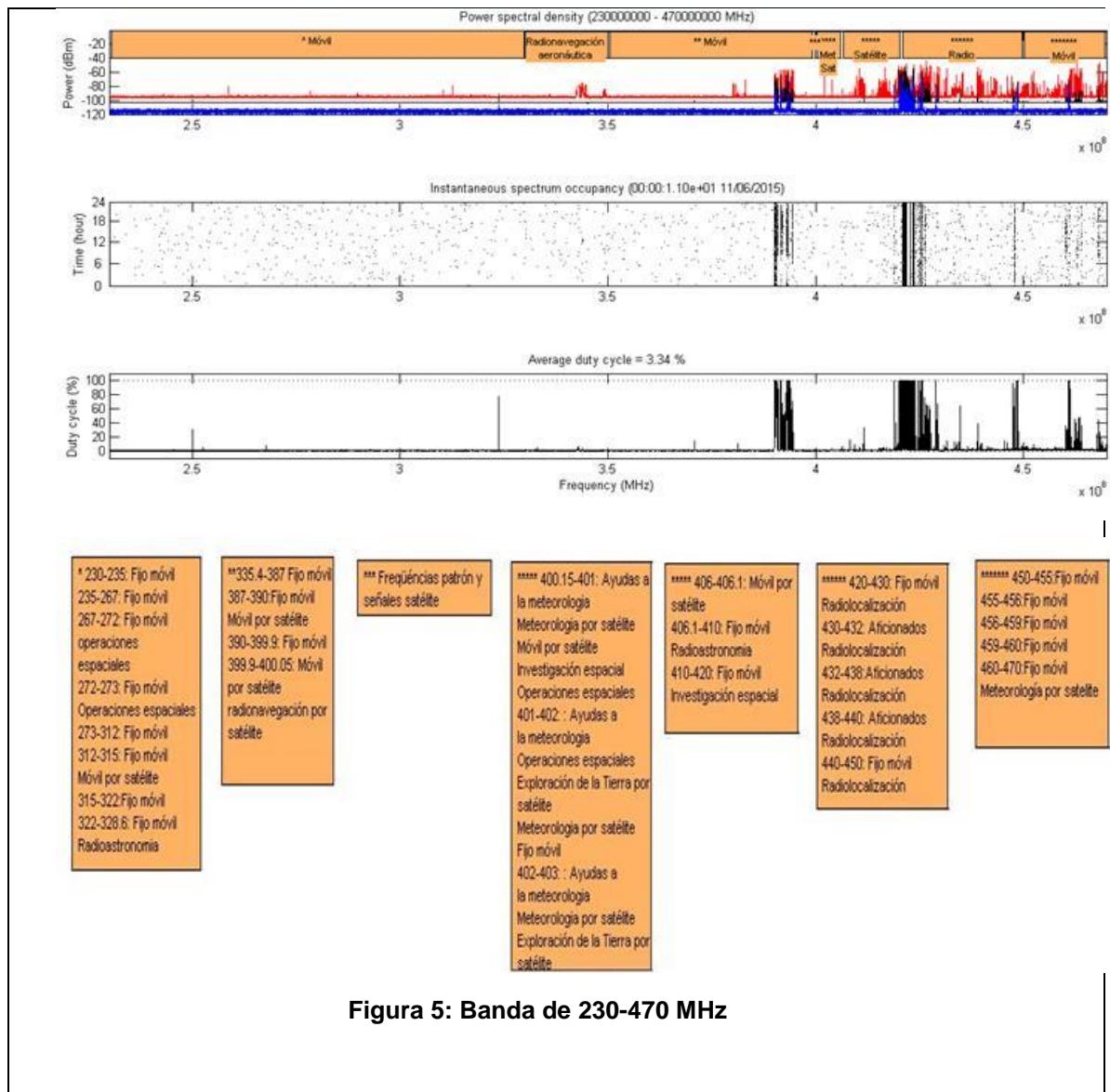
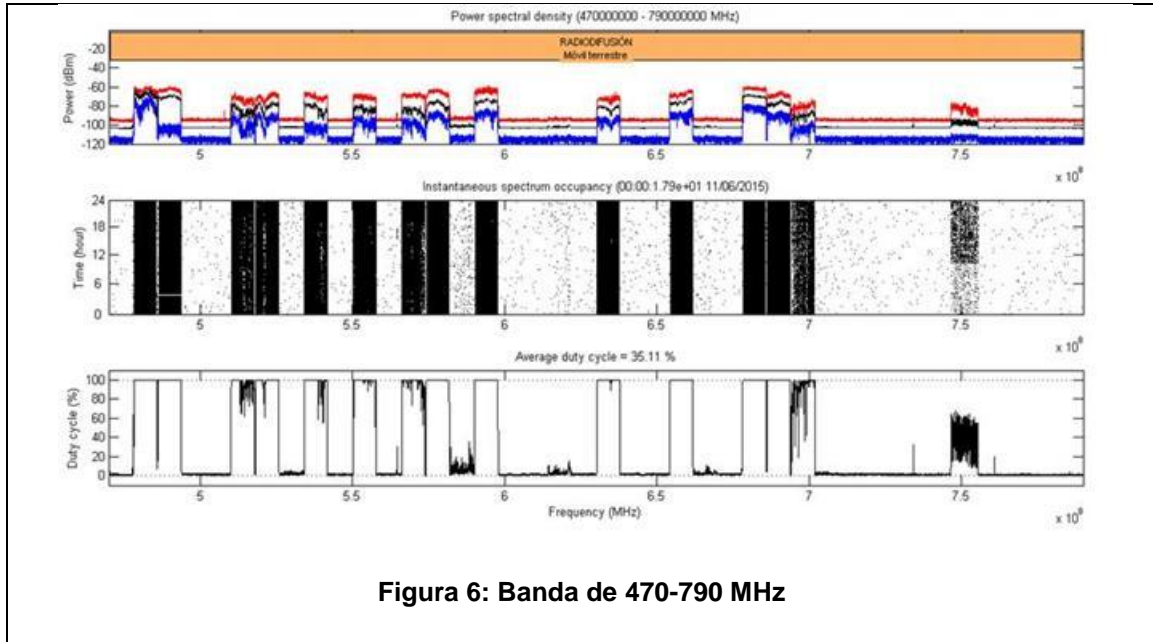


Figura 5: Banda de 230-470 MHz

5.1.3. Banda entre 470 MHz i 790 MHz

123. **Radiodifusión.-** Compren la banda de 470 MHz a 790 MHz, presenta un nivell d'ocupació molt elevat, del 35,1061 %. En aquestes freqüències trobem la Televisió digital terrestre (TDT). Observis que són canals molt ben definits i constants, amb un nivell de senyal rebuda d'un -60 dBm. Es a dir, aquesta banda presenta forats espectrals molt ben definits i per tant, encara que te una ocupació espectral força elevada, aquesta banda si seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva, això si sols en els forats espectral. A més a més, aquest forats espectrals son molt estables

(tenen una duració de mesos ó anys) lo que facilita la implementació de la Radio Cognitiva. De fet, es la banda en que ja s'han fet les primeres implementacions d'aquest tipus de sistemes.



5.1.4. Banda entre 790 MHz i 960 MHz

124. Fijo Móvil: Compren la banda de 790 MHz a 862 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 0,9416 %. L'operador Orange utilitza la banda de 791 MHz – 796 MHz de pujada i la banda de 832 MHz – 837 MHz de baixada. Encara que de moment aquesta banda presenta un nivell d'ocupació molt baix, tant en els canals de pujada com en els de baixada, i per tant sembla susceptible de ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva, aquesta banda és el "Dividendo Digital" i està pensada per desenvolupar els sistemes de comunicacions mòbils de quarta generació (4G) i per tant cal esperar que en un futur proper estigui força congestionada. Així doncs, considerem que, encara que de moment te una baixa ocupació espectral, aquesta banda no es apropiada per ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva .

- 125. Fijo Móvil:** Compren la banda de 862 MHz a 890 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6222 %. L'operador Orange utilitza la banda de 880.1 MHz – 890.1 MHz amb canals de pujada. Observis que es veuen els pics dels usuaris de pujada i tot i que el nivell de potència mitjà sigui baix, no significa que no estigui sent utilitzat per aquests usuaris, per tant, no seria susceptible de ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 126. Fijo Móvil:** Compren la banda de 890 MHz a 942 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 32,9842 %. L'operador Movistar utilitza la banda de 890.1 MHz – 904.1 MHz amb canals de pujada i la banda de 935.1 MHz – 945.1 MHz amb canals de baixada. En aquesta banda també tenim operant a l'operador Vodafone, mitjançant canals de pujada a la freqüència de 904.1 MHz – 914.9 MHz. L'operador Orange utilitza la banda 925.1 MHz – 935.1 MHz amb canals de baixada. És una banda on operen sistemes de GSM i LTE. Aquesta banda presenta un nivell d'ocupació molt elevat i utilitzada hi operen molts operadors mòbils, per tant, no seria susceptible de ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva i tot i que si que és cert, que la banda baixa (de 890 MHz – 920 MHz) no té un nivell de potència mitjana elevat (hi observem White Spaces), recordem que són canals de pujada que s'emeten des de dispositius amb menys potència, que són més difícils de detectar per l'antena i, que per tant, segurament estan sent ocupats encara que es capti forats espectrals.
- 127. Radiolocalización:** Compren la banda de 890 MHz a 942 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 32,9842 %. Degut a l'elevada ocupació de la banda, aquesta no seria susceptible de ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 128. Fijo Móvil:** Compren la banda de 942 MHz a 960 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 93,7918 %. L'operador Vodafone utilitza la banda de 949.9 MHz – 959.9 MHz amb

canals de baixada. Observis que presenta un nivell d'ocupació molt elevat, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

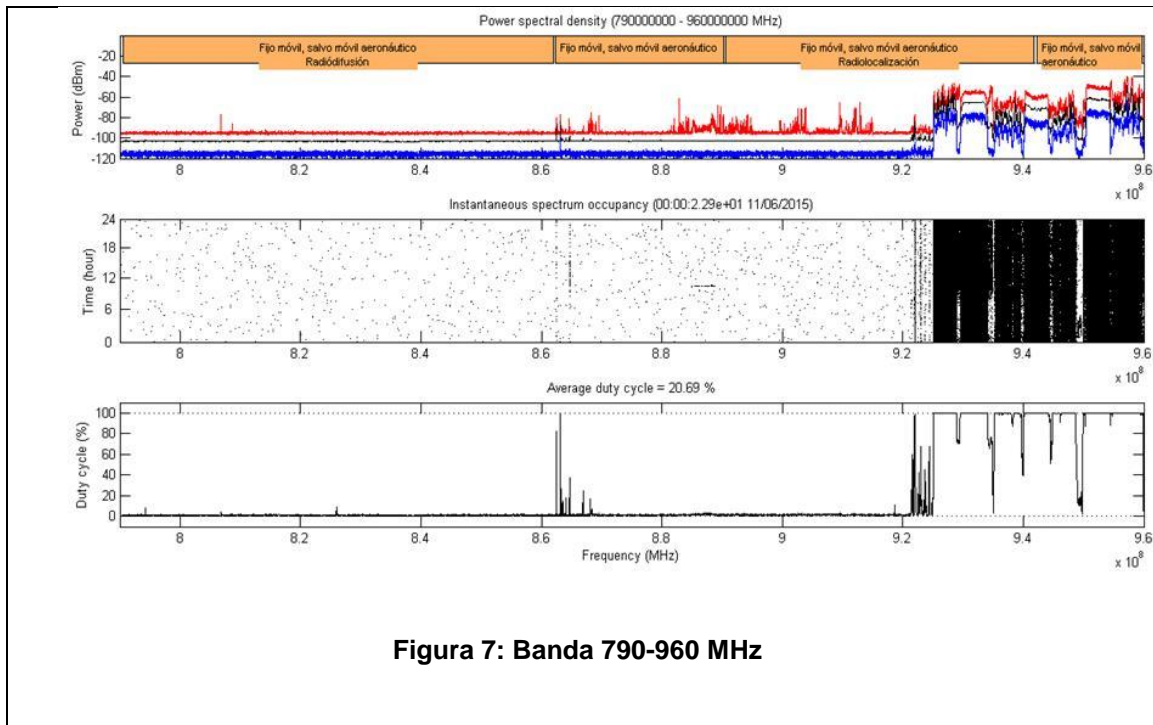


Figura 7: Banda 790-960 MHz

5.1.5. Banda entre 960 MHz i 1240 MHz

129. **Móvil Aeronáutico:** Compren la banda de 960 MHz a 1164 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2188 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que s'utilitza per comunicacions aeronàutiques i que no poden ser interferides.
130. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 960 MHz a 1164 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2188 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.
131. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 1164 MHz a 1215 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és

2,0280 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

132. Radionavegación por satélite: Compren la banda de 1164 MHz a 1215 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,0280 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

133. Radiolocalización: Compren la banda de 1215 MHz a 1240 MHz, presenta un nivell d'ocupació 1,9909 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

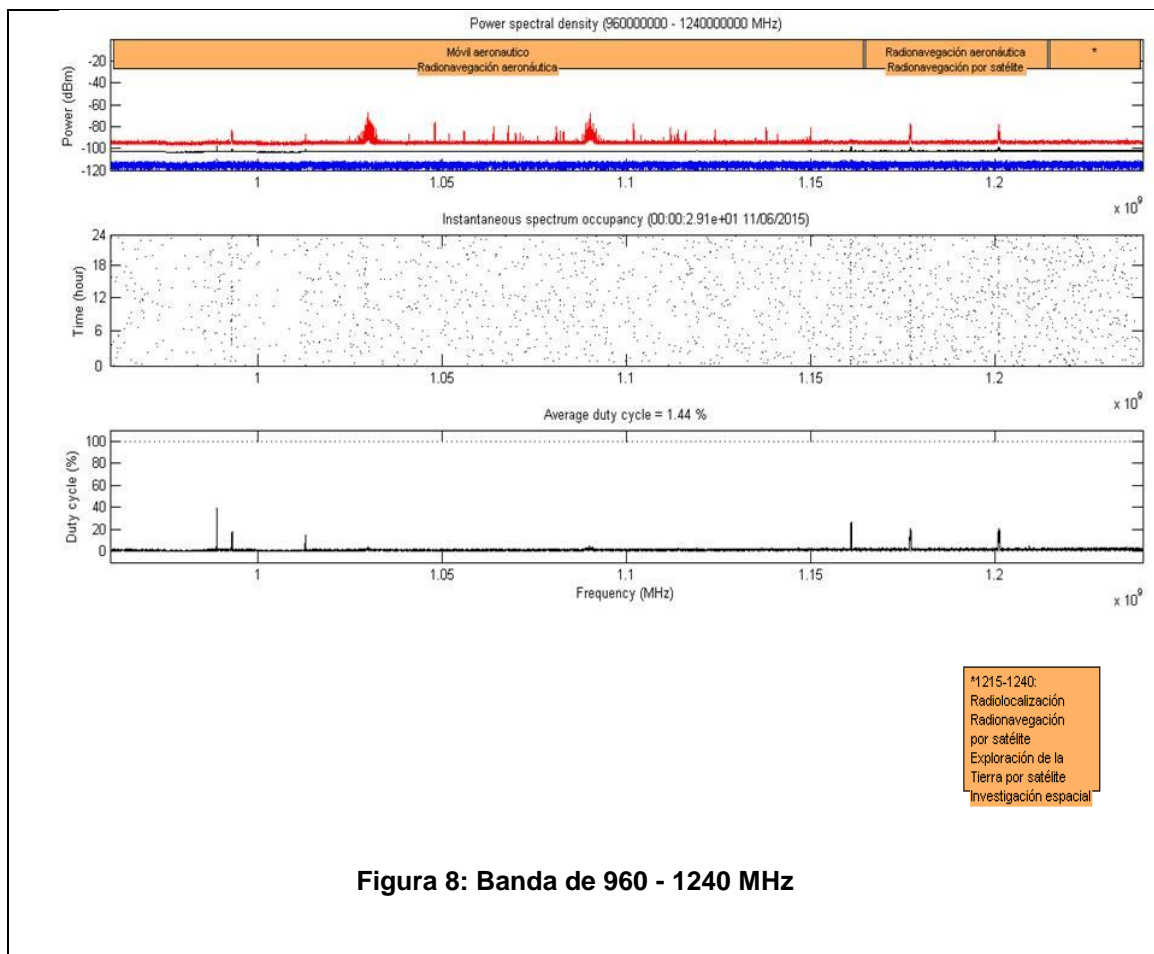
134. Radionavegación por satélite: Compren la banda de 1215 MHz a 1240 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9909 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

135. Exploración de la Tierra por satélite: Compren la banda de 1215 MHz a 1240 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9909 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser ocupada per sistemes cognitius degut a que comparteix banda amb sistemes crítics.

136. Investigación espacial: Compren la banda de 1215 MHz a 1240 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9909 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser ocupada per sistemes cognitius degut a que comparteix banda amb sistemes crítics.

137. Aficionados: Compren la banda de 1215 MHz a 1240 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9909 %.

Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser ocupada per sistemes cognitius degut a que comparteix banda amb sistemes crítics.



5.1.6. Banda entre 1240 MHz i 1559 MHz

138. **Radiolocalización:** Compren la banda de 1240 MHz a 1300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,5108 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

139. **Radionavegación por Satélite:** Compren la banda de 1240 MHz a 1300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,5108 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser

utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

140. **Exploración de la Tierra por Satélite:** Compren la banda de 1240 MHz a 1300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,5108 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser ocupada per sistemes cognitius degut a que comparteix banda amb sistemes crítics.
141. **Investigación Espacial:** Compren la banda de 1240 MHz a 1300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,5108 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser ocupada per sistemes cognitius degut a que comparteix banda amb sistemes crítics.
142. **Aficionados:** Compren la banda de 1240 MHz a 1300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,5108 %. Malgrat això, aquesta no seria una banda candidata a ser ocupada per sistemes cognitius degut a que comparteix banda amb sistemes crítics.
143. **Radiolocalización:** Compren la banda de 1300 MHz a 1350 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,7719 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de radiolocalització, els quals no poden ser interferits, per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
144. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 1300 MHz a 1350 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,7719 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
145. **Radionavegació por Satélite:** Compren la banda de 1300 MHz a 1350 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,719 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

146. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1350 MHz a 1400 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,0023 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
147. **Radiolocalización:** Compren la banda de 1350 MHz a 1400 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,0023 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de radiolocalització, els quals no poden ser interferits, per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
148. **Exploración de la Tierra por Satélite:** Compren la banda de 1400 MHz a 1427 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,5103 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
149. **Radioastronomía:** Compren la banda de 1400 MHz a 1427 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,5103 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
150. **Investigación Espacial:** Compren la banda de 1400 MHz a 1427 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,5103 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
151. **Operaciones Espaciales:** Compren la banda de 1427 MHz a 1429 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,5869 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

152. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1427 MHz a 1429 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5869 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
153. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1429 MHz a 1452 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7516 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
154. **Radiodifusión:** Compren la banda de 1452 MHz a 1492 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8130 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
155. **Radiodifusión por Satélite:** Compren la banda de 1452 MHz a 1492 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,8130 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
156. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1492 MHz a 1518 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6498 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
157. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1518 MHz a 1525 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1221 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
158. **Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1518 MHz a 1525 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1221 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
159. **Operaciones Espaciales:** Compren la banda de 1525 MHz a 1530 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5884 %. Aquesta banda s'utilitza per comunicacions i operacions

espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

- 160. Fijo Móvil:** Compren la banda de 1525 MHz a 1530 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5884 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 161. Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1525 MHz a 1530 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5884 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 162. Exploración de la Tierra por Satélite:** Compren la banda de 1525 MHz a 1530 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5884 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 163. Operaciones Espaciales:** Compren la banda de 1530 MHz a 1535 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4113 %. Aquesta banda s'utilitza per comunicacions i operacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 164. Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1530 MHz a 1535 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4113 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 165. Exploración de la Tierra por Satélite:** Compren la banda de 1530 MHz a 1535 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4113 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

166. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1530 MHz a 1535 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,4113 %. Aquest sistema comparteix freqüències amb sistemes crítics els quals no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
167. **Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1535 MHz a 1559 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,3134 %. Aquest sistema s'utilitza per comunicacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

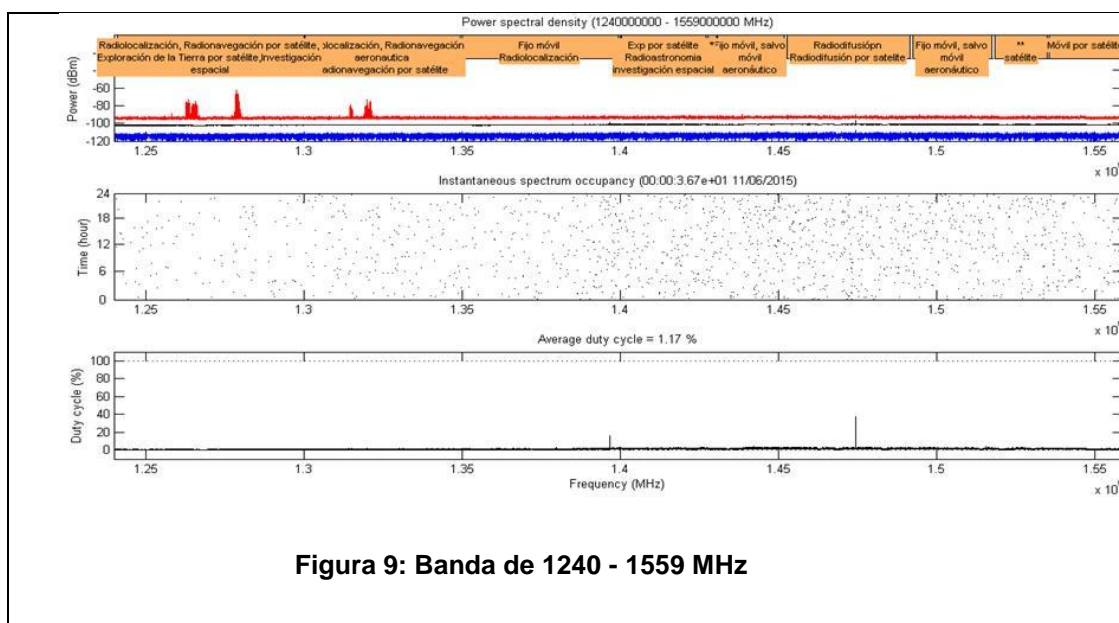


Figura 9: Banda de 1240 - 1559 MHz

5.1.7. Banda entre 1559 MHz i 1710 MHz

168. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 1559 MHz a 1610 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,3395 %. Aquesta banda s'utilitza per sistemes de radionavegació que no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

169. **Radionavegación por Satélite:** Compren la banda de 1559 MHz a 1610 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3395 %. Aquesta banda s'utilitza per sistemes de radionavegació que no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
170. **Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1610 MHz a 1610,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3162 %. Aquest sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
171. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 1610 MHz a 1610,6 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3162 %. Aquesta banda s'utilitza per sistemes de radionavegació que no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
172. **Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1610,6 MHz a 1613,8 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3756 %. Aquest sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
173. **Radioastronomía:** Compren la banda de 1610,6 MHz a 1613,8 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3756 %. Aquest sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
174. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 1610,6 MHz a 1613,8 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3756 %. Aquesta banda s'utilitza per sistemes de radionavegació que no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

175. **Mòvil por Satélite:** Compren la banda de 1613,8 MHz a 1626,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3509 %. Aquest sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
176. **Radionavegación Aeronáutica:** Compren la banda de 1613,8 MHz a 1626,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3509 %. Aquesta banda s'utilitza per sistemes de radionavegació que no poden ser interferits, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
177. **Mòvil por Satélite:** Compren la banda de 1613,8 MHz a 1626,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3509 %. Aquest sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
178. **Mòvil por Satélite:** Compren la banda de 1626,5 MHz a 1660 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2870 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
179. **Mòvil por Satélite:** Compren la banda de 1660 MHz a 1660,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3504 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
180. **Radioastronomía:** Compren la banda de 1660 MHz a 1660,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,3504 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
181. **Radioastronomía:** Compren la banda de 1660,5 MHz a 1668 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6700 %.

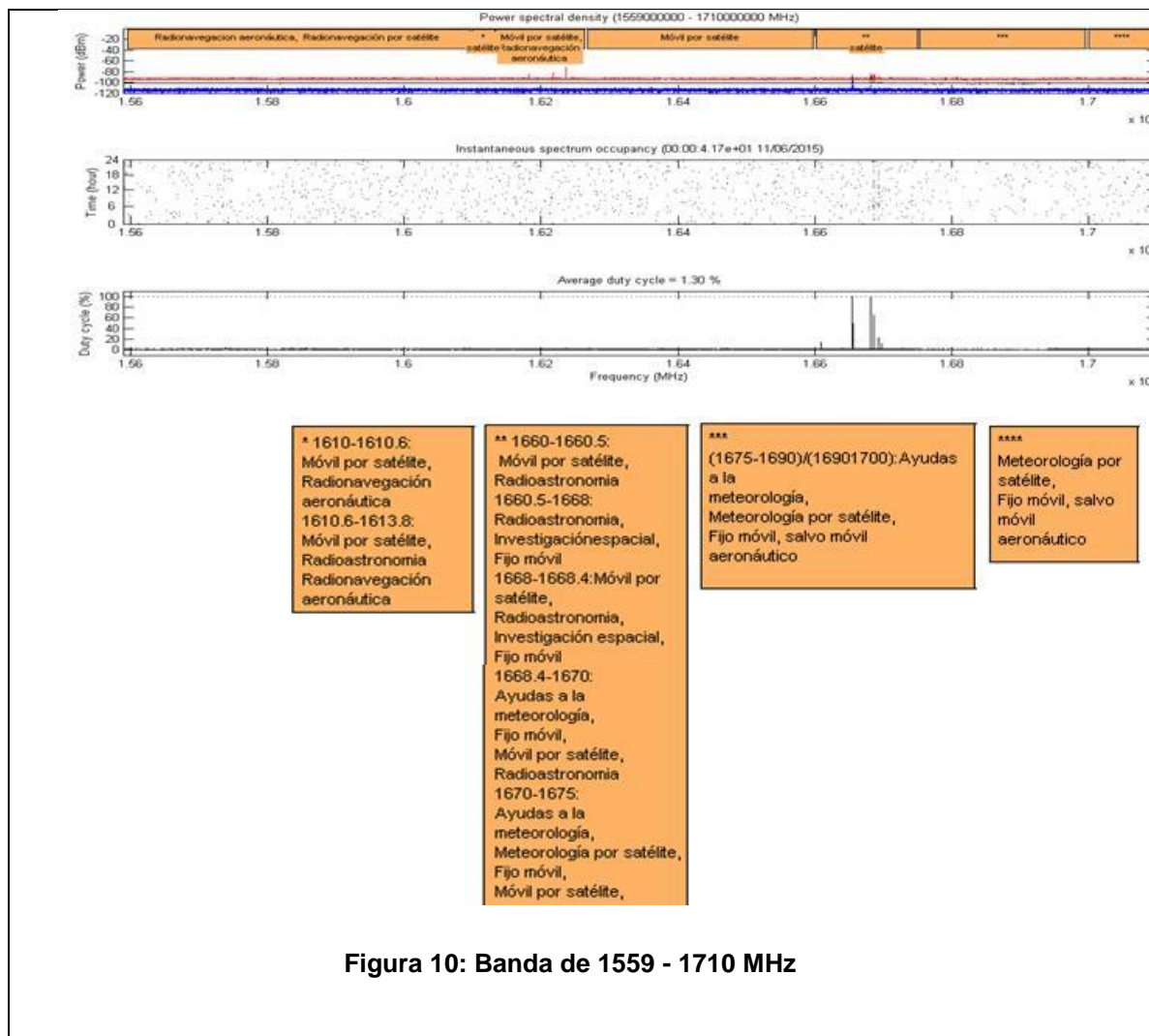
Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

- 182. Investigación Espacial:** Compren la banda de 1660,5 MHz a 1668 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6700 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 183. Fijo Móvil:** Compren la banda de 1660,5 MHz a 1668 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,6700 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
- 184. Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1668 MHz a 1668,4 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 7,9146 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut al seu nivell d'ocupació.
- 185. Radioastronomía:** Compren la banda de 1668 MHz a 1668,4 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 7,9146 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut al seu nivell d'ocupació.
- 186. Investigación Espacial:** Compren la banda de 1668 MHz a 1668,4 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 7,9146 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut al seu nivell d'ocupació.
- 187. Fijo Móvil:** Compren la banda de 1668 MHz a 1668,4 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 7,9146 %. Aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva degut al seu nivell d'ocupació.
- 188. Ayudas a la Meteorología:** Compren la banda de 1668,4 MHz a 1670 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és

3,8061 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

189. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1668,4 MHz a 1670 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,8061 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
190. **Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1668,4 MHz a 1670 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,8061 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
191. **Radioastronomía:** Compren la banda de 1668,4 MHz a 1670 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 3,8061 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
192. **Ayudas a la Meteorología:** Compren la banda de 1670 MHz a 1675 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2490 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
193. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1670 MHz a 1675 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2490 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
194. **Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1670 MHz a 1675 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2490 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
195. **Meteorología por Satélite:** Compren la banda de 1670 MHz a 1675 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,2490 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

196. **Ayudas a la Meteorología:** Compren la banda de 1675 MHz a 1690 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,7739 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
197. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1675 MHz a 1690 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,7739 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
198. **Meteorología por Satélite:** Compren la banda de 1675 MHz a 1690 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,7739 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
199. **Ayudas a la Meteorología:** Compren la banda de 1690 MHz a 1700 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0038 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
200. **Meteorología por Satélite:** Compren la banda de 1690 MHz a 1700 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0038 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
201. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1690 MHz a 1700 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0038 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
202. **Meteorología por Satélite:** Compren la banda de 1700 MHz a 1710 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1592 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.
203. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 1700 MHz a 1710 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1592 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.



5.1.8. Banda entre 1710 MHz i 2025 MHz

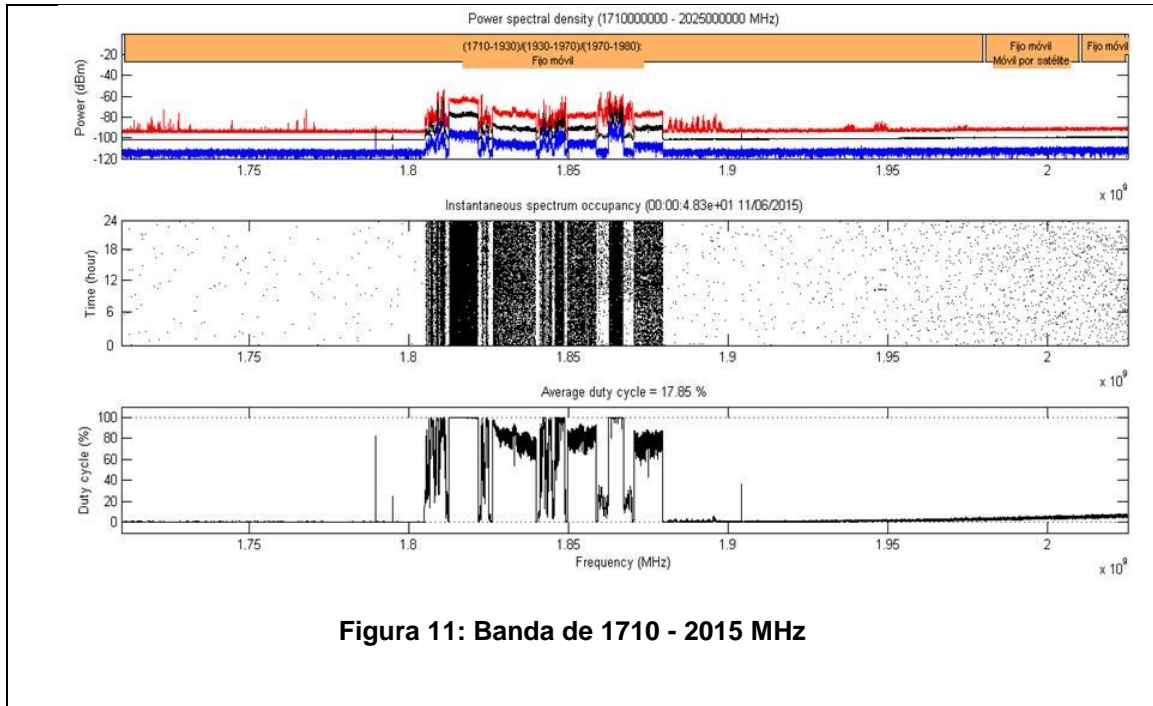
204. Fijo Móvil: Compren la banda de 1710 MHz a 1930 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 25,8795 %. L'operador Movistar utilitza la banda de 1710.1 MHz – 1730.1 MHz com a banda de pujada i els canals de 1805.1 MHz – 1825 MHz de baixada. L'operador Vodafone utilitza la banda de 1730.1 MHz – 1750.1 MHz per canals de pujada i els canals de la banda de 1825.1 MHz – 1845.1 MHz de baixada. L'operador Yoigo utilitza la banda de 1750.1 MHz – 1764.1 MHz per canals de pujada i els canals de la banda de 1845.1 MHz – 1859.9 MHz de baixada. L'operador Orange utilitza la banda de 1764.1 MHz – 1784 MHz per canals de pujada i els canals de la banda de 1859.9 MHz – 1879.9 MHz de baixada. En aquesta banda també tenim canals LTE-TDD de 5 MHz d'ample de banda que ocupen el rang de 1900 MHz a 1920 MHz (el rang de 1900 MHz – 1905 MHz l'utilitza l'operador Orange, el rang de 1905 MHz – 1910 MHz l'utilitza l'operador Vodafone, el rang de 1910 MHz – 1915 MHz l'utilitza l'operador Movistar i el rang de 1915 MHz – 1920 MHz l'utilitza l'operador Yoigo).

En aquesta banda trobem sistemes de DCS1800 i 3G. No seria una candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que presenta un nivell d'ocupació elevat i trobem molt operadors utilitzant aquesta banda.

205. Fijo Móvil: Compren la banda de 1930 MHz a 1970 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,6960 %. En aquesta banda tenim canals UMTS de pujada de 15 MHz d'ample de banda que ocupen el rang de 1920 MHz a 1980 MHz (el rang de 1920 MHz – 1935 MHz l'utilitza l'operador Yoigo, el rang de 1935 MHz – 1950 MHz l'utilitza l'operador Orange, el rang de 1950 MHz – 1965 MHz l'utilitza l'operador Vodafone i el rang de 1965 MHz – 1980 MHz l'utilitza l'operador Movistar).

Veiem una ocupació molt baixa degut a que són canals de pujada i normalment la potencia dels aparells de pujada és molt inferior a la potencia emesa per l'antena de Collserola, per tant, aquest rang no seria un bon candidat a ser utilitzat per sistemes cognitius.

- 206. Fijo Móvil:** Compren la banda de 1970 MHz a 1980 MHz, presenta un nivell d'ocupació 1,2698 %. Tenim canals de UMTS de Movistar. Tot i que l'ocupació actual sigui molt baixa, això es degut a que són canals de pujada i normalment la potencia dels aparells de pujada és molt inferior a la potencia emesa per l'antena de Collserola, per tant, aquest rang no seria un bon candidat a ser utilitzat per sistemes cognitius.
- 207. Fijo Móvil:** Compren la banda de 1980 MHz a 2010 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9613 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 208. Móvil por Satélite:** Compren la banda de 1980 MHz a 2010 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,9613 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 209. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2010 MHz a 2025 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 2,8879 %. Tot i que l'ocupació actual sigui molt baixa, aquesta es una banda reservada pel operadors de comunicacions mòbils per fer ús en els sistemes 3G del mode d'operació TDD. Per tant, aquesta banda no seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.



5.1.9. Banda entre 2025 MHz i 2300 MHz

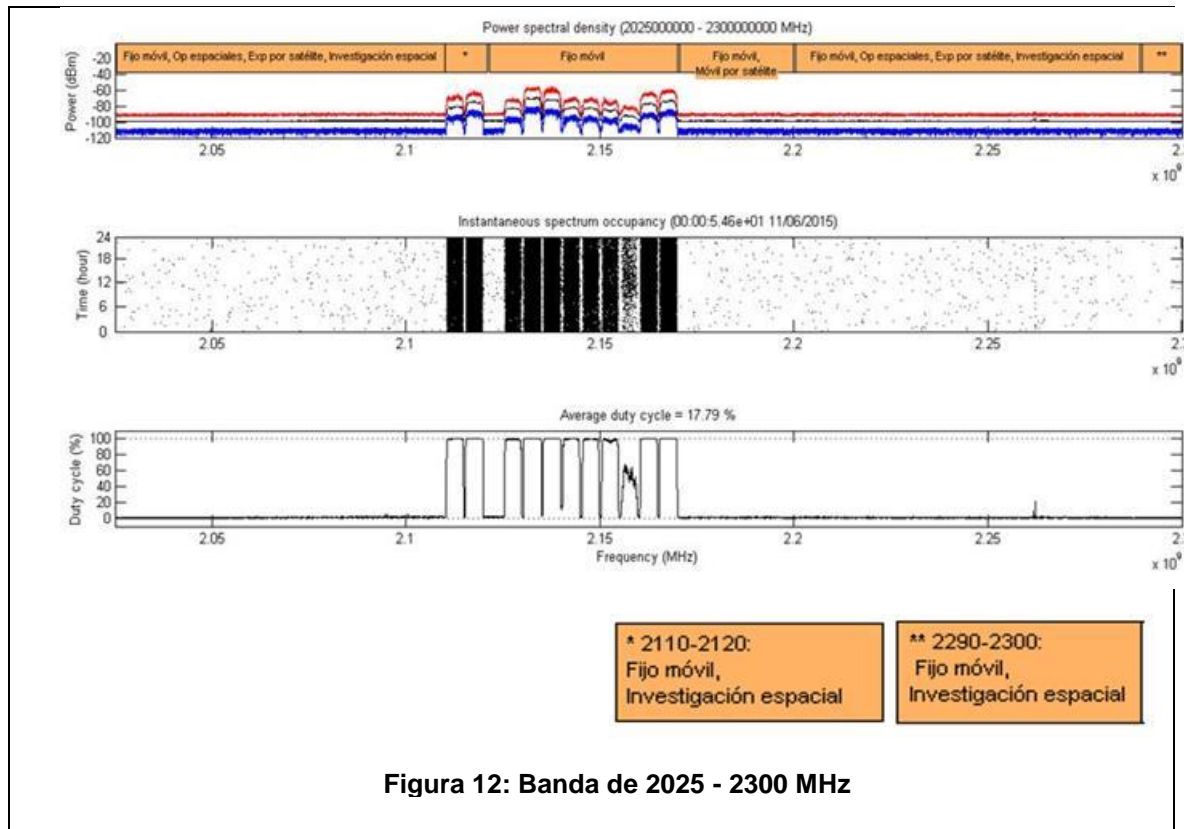
210. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 2025 MHz a 2110 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0769 %. Aquesta sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

211. **Operaciones Espaciales:** Compren la banda de 2025 MHz a 2110 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0769 %. Aquest banda s'utilitza per comunicacions i operacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

212. **Exploración de la Tierra por Satélite:** Compren la banda de 2025 MHz a 2110 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0769 %. Aquesta sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

- 213. Investigación Espacial:** Compren la banda de 2025 MHz a 2110 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0769 %. Aquesta sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 214. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2110 MHz a 2120 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 89,9122 %. L'operador Yoigo disposa de canals de baixada UMTS que ocupen un ample de banda de 2110 MHz a 2125 MHz. Presenta un nivell d'ocupació molt elevat, per tant, no és una banda susceptible d'introduir sistemes de radio cognitiva.
- 215. Investigación Espacial:** Compren la banda de 2110 MHz a 2120 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 89,9122 %. Presenta un nivell d'ocupació molt elevat, per tant, no és una banda susceptible d'introduir sistemes de radio cognitiva.
- 216. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2120 MHz a 2160 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 71,5290 %. L'operador Orange (2125 MHz – 2140 MHz) i l'operador Vodafone (2140 MHz – 2155 MHz) disposen de canals de baixada UMTS en aquesta banda. Presenta un nivell d'ocupació molt elevat, per tant, no és una banda susceptible d'introduir sistemes de radio cognitiva.
- 217. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2160 MHz a 2170 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 90,6073 %. L'operador Movistar disposa d'una banda de 2155 MHz – 2170 MHz per canals de baixada UMTS. Presenta un nivell d'ocupació molt elevat, per tant, no és una banda candidata per introduir sistemes cognitius.
- 218. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2170 MHz a 2200 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1053 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

- 219. Mòvil por Satélite:** Compren la banda de 2170 MHz a 2200 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1053 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 220. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2200 MHz a 2290 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0475 %. Aquesta sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 221. Operaciones Espaciales:** Compren la banda de 2200 MHz a 2290 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0475 %. Aquesta banda s'utilitza per comunicacions i operacions espacials que no poden ser interferides, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 222. Exploración de la Tierra por Satélite:** Compren la banda de 2200 MHz a 2290 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0475 %. Aquesta sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 223. Investigación Espacial:** Compren la banda de 2200 MHz a 2290 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,0475 %. Aquesta sistema comparteix banda amb sistemes crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 224. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2290 MHz a 2300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,8165 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 225. Investigación Espacial:** Compren la banda de 2290 MHz a 2300 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 0,8165 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.



5.1.10. Banda entre 2300 MHz i 2500 MHz

226. **Fijo Móvil:** Compren la banda de 2300 MHz a 2450 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1733 %. Per altra banda, la part del espectre compresa entre 2400 MHz i 2450 MHz forma part de la denominada banda ISM (Industrial Scientific and Medical) que és d'ús lliure en l'interior d'edificis sempre que la potencia radiada aparent no superi els 20 dBm. Per tant, aquesta seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.

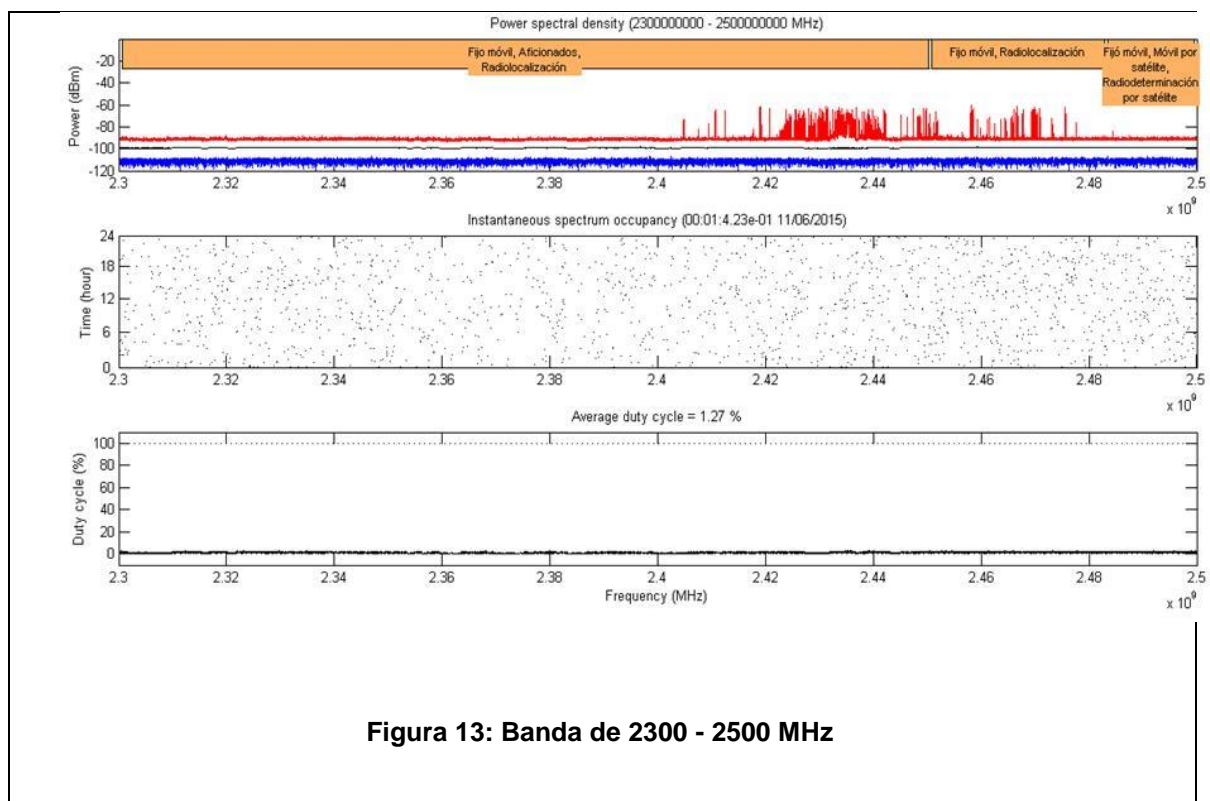
227. **Aficionados:** Compren la banda de 2300 MHz a 2450 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1733 %. Tal com s'ha dit anteriorment forma part de la banda ISM i per tant, seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.

- 228. Radiolocalización:** Compren la banda de 2300 MHz a 2450 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1733 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de radiolocalització. No obstant, com s'ha dit anteriorment forma part de la banda ISM i per tant, seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.
- 229. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2450 MHz a 2483,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5453 %. Aquesta banda també forma part de la banda ISM i per tant, seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.
- 230. Radiolocalización:** Compren la banda de 2450 MHz a 2483,5 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5453 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de radiolocalització, els quals no poden ser interferits, però, com s'ha dit anteriorment forma part de la banda ISM i per tant, seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.
- 231. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2483,5 MHz a 2500 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5718 %. Aquesta banda també forma part de la banda ISM i per tant, seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.
- 232. Móvil por Satélite:** Compren la banda de 2483,5 MHz a 2500 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5718 %. Tal com s'ha dit anteriorment forma part de la banda ISM i per tant, seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.
- 233. Radiodeterminación por Satélite:** Compren la banda de 2483,5 MHz a 2500 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,5718 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

radiodeterminació, els quals no poden ser interferits. No obstant aquesta banda també forma part de la denominada banda ISM (Industrial Scientific and Medical) que es de us lliure en l'interior d'edificis sempre que la potencia radiada aparent no superi el 20 dBm. Per tant, aquesta seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.

- 234. Radiolocalización:** Compren la banda de 2483,5 MHz a 2500 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 1,5718 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de radiolocalització, els quals no poden ser interferits. No obstant,, tal com se ha dit anteriorment aquesta banda també forma part de la denominada banda ISM (Industrial Scientific and Medical) i per tant seria una banda candidata a ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.



5.1.11. Banda entre 2500 MHz i 2700 MHz

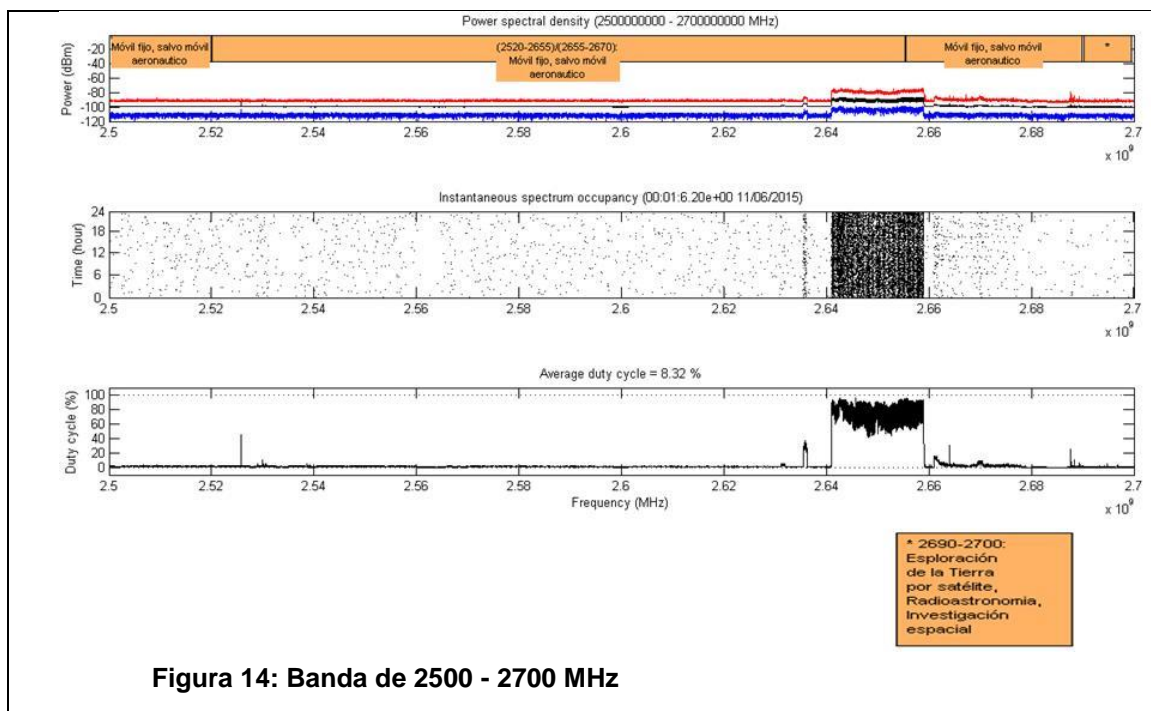
- 235. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2500 MHz a 2520 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,7009 %. L'operador Movistar l'utilitza per canals de pujada mitjançant tecnologia LTE-FDD. Observis que tot i que presenta un nivell d'ocupació baix, al ser canals de pujada pot ser que la nostra antena no els capti, per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.
- 236. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2520 MHz a 2655 MHz, presenta un nivell d'ocupació moderat, el seu cicle de treball és 9,1260 %. L'operador Orange l'utilitza per canals de pujada mitjançant tecnologia LTE-FDD amb dos canals de 10 MHz que ocupen la banda de 2520 MHz – 2540 MHz i dos canals de baixada mitjançant la banda 2640 MHz – 2660 MHz. L'operador Vodafone utilitza canals de pujada mitjançant tecnologia LTE-FDD amb canals que ocupen la banda de 2540 MHz – 2560 MHz. L'operador Neo-Sky utilitza la banda de 2595 MHz – 2605 MHz mitjançant la tecnologia LTE-TDD. L'operador Movistar l'utilitza canals de baixada mitjançant tecnologia LTE-FDD amb canals que ocupen la banda de 2620 MHz – 2640 MHz. Observis que presenta un nivell d'ocupació moderat, per tant, no seria candidata a utilitzar sistemes cognitius
- 237. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2655 MHz a 2670 MHz, presenta un nivell d'ocupació elevat, el seu cicle de treball és 24,1323 %. L'operador Vodafone l'utilitza per canals de baixada mitjançant tecnologia LTE-FDD. Presenta un nivell d'ocupació elevat, per tant, no seria candidat a la utilització de sistemes cognitius.
- 238. Fijo Móvil:** Compren la banda de 2670 MHz a 2690 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4738 %. L'operador Vodafone l'utilitza per canals de baixada mitjançant tecnologia LTE-FDD a la banda de 2675 MHz – 2680 MHz. Presenta un

nivell d'ocupació baix (i recordem que són canals de baixada), per tant seria candidat a ser utilitzada per sistemes cognitius.

239. Exploración de la Tierra por Satélite: Compren la banda de 2690 MHz a 2700 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 0,5823 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

240. Radioastronomía: Compren la banda de 2690 MHz a 2700 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 0,5823 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.

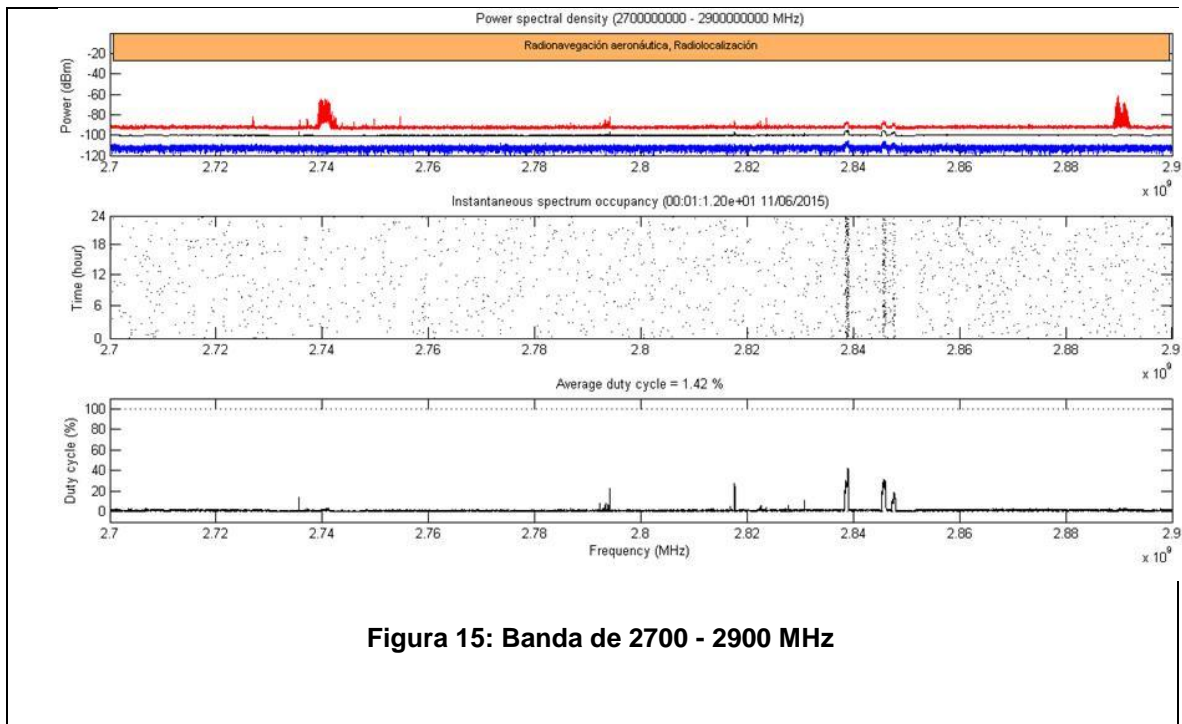
241. Investigación Espacial: Compren la banda de 2690 MHz a 2700 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cycle de treball és 0,5823 %. Aquesta banda seria candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius.



5.1.12. Banda entre 2300 MHz i 2900 MHz

242. Radionavegación Aeronáutica: Compren la banda de 2700 MHz a 2900 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4212 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.

243. Radiolocalización: Compren la banda de 2700 MHz a 2900 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,4212 %. Aquesta banda, però, no seria una bona candidata a ser utilitzada per sistemes cognitius ja que és tracta d'una banda utilitzada per sistemes crítics que no poden ser interferits.



5.1.13. Banda entre 2900 MHz i 3100 MHz

244. Radiolocalització: Compren la banda de 2900 MHz a 3100 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1956 %. Aquesta banda és utilitzada per sistemes de radiolocalització, els quals no poden ser interferits, per tant, no seria candidata a ser utilitzada per sistemes de radio cognitiva.

245. Exploración de la Tierra por Satélite: Compren la banda de 2900 MHz a 3100 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1956 %. Malgrat això, comparteix banda amb sistemes de radiolocalització crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes crítics.

246. Investigación Espacial: Compren la banda de 2900 MHz a 3100 MHz, presenta un nivell d'ocupació baix, el seu cicle de treball és 1,1956 %. Malgrat això, comparteix banda amb sistemes de radiolocalització crítics, per tant, no seria una banda candidata a ser utilitzada per sistemes crítics.

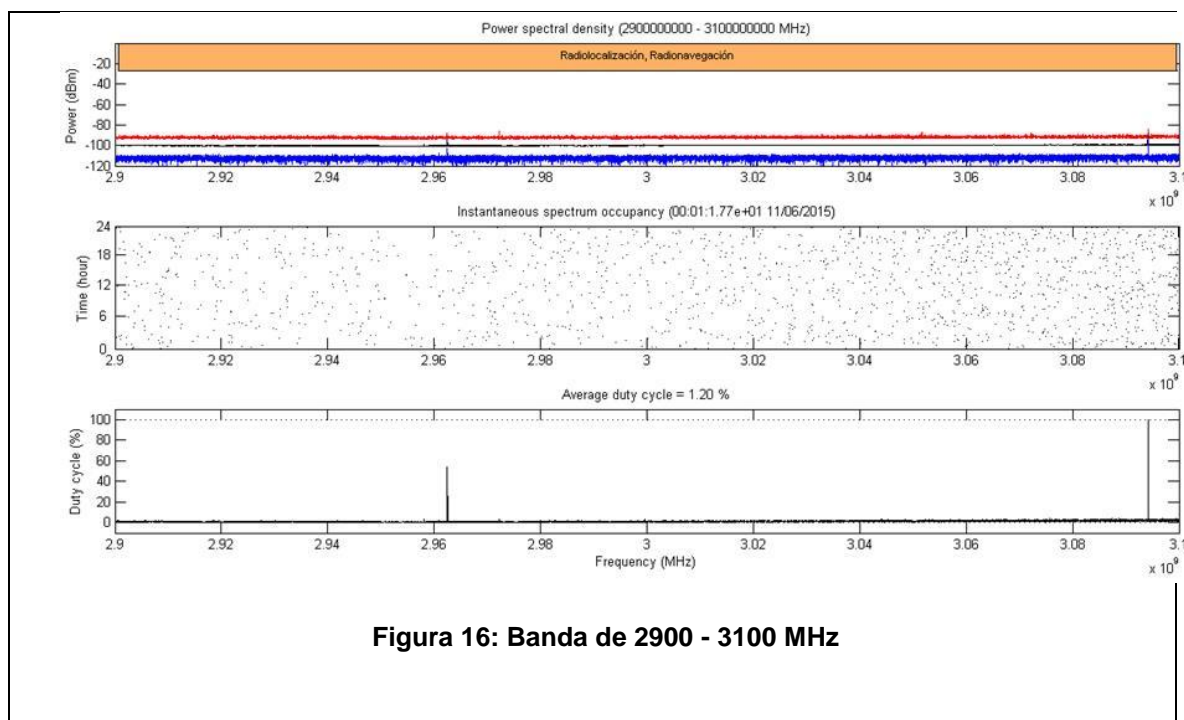


Figura 16: Banda de 2900 - 3100 MHz

5.1.14. Resum de les bandes apropiades per ser utilitzades en Radio Cognitiva

En la següent Taula es llisten les sub-bandes que d'acord amb l'anàlisi anterior son susceptibles de ser utilitzades per la radio cognitiva.

Nom Sub-banda	Rang de Freqüències (MHz)	Ocupació Espectral (%)	Comentaris
Fijo Móvil	75 - 87,5	0,77	
Radioaficionados/ Radioaficionados per satèl·lit	144-146	3,58	
Fijo Móvil	146-148	1,99	
Fijo Móvil /Fijo Satèl·lit	148-149,9	2,39	Lluny d'instal·lacions de comunicacions per satèl·lit
Fijo Móvil / Radioastronomía	150,05-153	2,90	Lluny d'instal·lacions de Radioastronomia
Fijo Móvil	154- 156,4875	2,63	
Fijo Móvil	156,8375- 161,9625	1,92	
Fijo Móvil	162,0375- 174,00	3,90	
Radiodifusión/Móvil Terrestre / Fijo Móvil	223-230	1,87	
Fijo Móvil	230-235	0,68	
Fijo Móvil	235-267	0,86	
Fijo Móvil	273-312	1,00	
Fijo Móvil/Móvil satèl·lit	312-315	1,00	
Fijo Móvil	315-322	1,01	
Fijo Móvil /Radioastronomía	322-328,6	1,04	
Fijo Móvil	335,4-387	1,00	
Fijo Móvil/Móvil Satèl·lit	387-390	1,00	
Ayudas a la Meteorología/Meteorol ogía por	402-403	1,13	Lluny d'instal·lacions de Meteorologia ó de

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

satèl·lit/exploración de la Tierra/Móvil Fijo			recepció per satèl·lit
Móvil Fijo	403-406	1,20	
Móvil por satélite	406-406,1	1,35	
Fijo Móvil y Radioastronomía	406,1-410	1,43	Lluny d'instal·lacions de Radioastronomia
Fijo Móvil /Investigación Espacial	410-420	2,27	
Fijo Móvil	450-455	2,04	
Fijo Móvil	455-456	2,08	
Fijo Móvil	456-459	2,01	
Fijo Móvil	459-460	1,8	
Radiodifusión	470-790	35,1	Encara que el seu nivell d'ocupació es alt, presenta forats espectrals de bon ample de banda (mínim 8 MHz) i aquest son molt estables (tenen una duració de mesos o anys) el que facilita la implementació de la Radio Cognitiva
Operaciones Espaciales/Fijo Móvil	1427-1429	1,58	
Fijo Móvil	1429-1452	1,75	
Radiodifusión/ Radiodifusión por Satélite	1452-1492	1,8	
Fijo Móvil	1492-1518	1,64	
Móvil Satélite	1626,5-1660	1,28	
Móvil Satélite/ Radioastronomía	1660-1660,5	1,35	
Radioastronomía/Investigación Espacial/ Fijo Móvil	1660,5-1668	1,67	
Ayuda Meteorología/ Fijo Móvil/Móvil	1668,4-1670	3,8	Lluny d'instal·lacions de Meteorologia

Satélite/ Radioastronomía			
Ayuda Meteorología/ Meteorología por satélite	1670-1675	1,25	
Ayuda Meteorología/ Fijo Móvil	1675-1690	0,77	Lluny d'instal·lacions de Meteorologia
Ayuda Meteorología/ Fijo Móvil	1690-1700	1,00	Lluny d'instal·lacions de Meteorologia
Meteorología por satélite/ Fijo Móvil	1700-1710	1,16	
Móvil Satélite	1980-2010	1,96	
Móvil Satélite/ Fijo Móvil	2170-2200	1,1	
Fijo Móvil/ Investigación Espacial	2290-2300	0,82	
Fijo Móvil/Móvil Satélite/Radioaficiona dos/ Radiolocalización	2400-2500	1,5	Es tracta de la banda ISM (Industrial Scientific and Medical) que es d'ús lliure en l'interior d'edificis. Per tant, pot ser utilitzada en sistemes de radio cognitiva en interiors.
Fijo Móvil	2670-2690	1,47	
Exploración de la Tierra por satélite/ Radioastronomía/ Investigación Espacial	2690-2700	0,58	Lluny d'instal·lacions de Radioastronomia i de sistemes de recepció de senyal dels satèl·lits

En resum, la banda d'ús més favorable pels sistemes de radio cognitiva és la banda de radiodifusió de TV a causa de tenir un forats espectrals amb un ample de banda considerable (múltiples de 8 MHz) i ser molt estables amb el temps. De la resta de bandes disponibles destaquen les bandes assignades al servei "Fijo Móvil" que serveixen per establir radioenllaços entre unitats mòbils d'un operador de radiodifusió (radio o TV) o d'un operador de comunicacions en general i estacions fixes. En aquest sentit es troben bandes molt poc utilitzades en els següents rangs de freqüències, entre 75 MHz - 80 MHz, 150 MHz - 160 MHz, 230 MHz - 250 MHz, 320 MHz - 330 MHz o 450 MHz - 460 MHz. Totes aquestes bandes són clarament susceptibles d'utilització per sistemes de radio cognitiva. També trobem aquest tipus de bandes per sobre 1 GHz, però en aquest cas, normalment el radioenllaç correspon a un sistema troncal de comunicacions de telefonia i/o Tv i per tant s'ha de tenir major cura de no interferir-lo. Finalment mencionar que totes les bandes identificades com bandes d'aficionats, també resulten apropiades per fer ús de la radio cognitiva.

5.2. Anàlisi de les bandes de Comunicacions Mòbils

Com s'ha indicat amb anterioritat, a més d'agafar les mostres de les freqüències compreses entre 75,2 MHz i 3100 MHz, en aquest treball també s'ha volgut observar la variació setmanal d'un determinat rang de freqüències. S'han escollit les freqüències al voltant dels 900 MHz, 1800 MHz i 2100 MHz ja que així s'ha pogut observar sistemes amb una elevada carga de treball com el GSM, UMTS, DSC1800 i 4G i la seva evolució (ocupació espectral i nivell de potencia) al llarg del temps.

5.2.1. Banda de GSM-DL (925 MHz - 935 MHz)

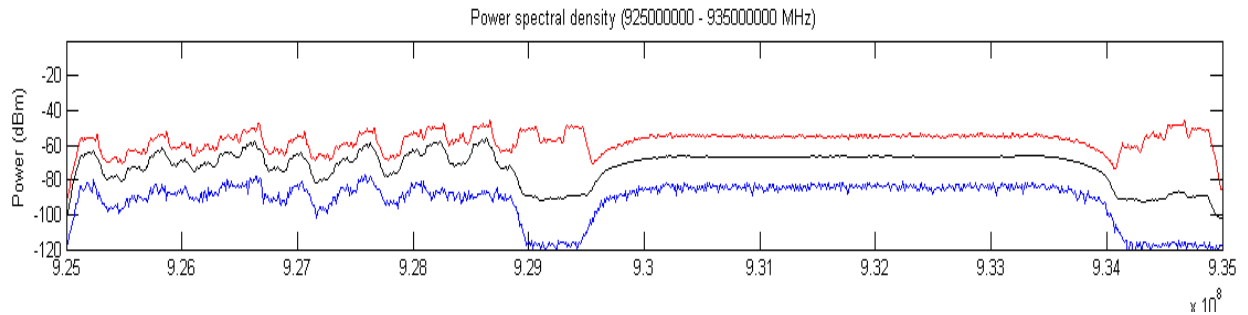


Figura 17: Gràfica de potència del rang de 900 MHz

La figura 17 ens mostra el rang de freqüències que s'han analitzat (concretament, s'ha analitzat el canal que va des de 929,3 MHz fins a 929,55 MHz i el canal UMTS que ocupa el rang de 929,6 MHz - 934 MHz). S'ha escollit la banda corresponent al enllaç de baixada (down-link) ja que l'emissor és l'Estació base i és possible detectar amb força precisió les senyals emeses. Pel que fa al enllaç ascendent (up-link), donat que són els mòbils qui emeten el senyal i ho fan uns 12 dBs per sota dels nivells emesos per l'estació base, resulta molt difícil detectar la seva emissió amb fiabilitat suficient⁷. No obstant, donat que aquest sistema fa servir un mètode de duplexació FDD amb assignació simètrica dels canals, detectar l'enllaç descendent és totalment equivalent a detectar l'enllaç ascendent en termes d'ocupació espectral.

En la figura 17, també es pot observar que en aquesta banda coexisteixen dos tipus de serveis, el servei de GSM amb canalització de 200 kHz i canals de UMTS amb canalització de 5 MHz. Per tant, a continuació analitzem per separat aquests dos tipus de serveis d'aquesta banda.

En la figura 18, s'observa l'evolució temporal d'un dels canals de GSM que s'han triat. El temps d'inici de la mostra va ser el dimarts 7 de juliol 2015 (07/07/2015) a les 0 hores exactes i l'última mostra presa va ser el dilluns 13 de juliol a les 23 hores i 59 minuts. Com es pot observar

⁷ De fet tindríem de estar a prop de l'antena receptora i fer servir sistemes de diversitat, tal com fan les estacions base, per tal de detectar aquests senyals amb bona fiabilitat.

clarament en la gràfica hi ha uns pics de potència molt marcats en les hores diürnes i en canvi s'observa una clara disminució de la potència en les hores nocturnes. També es pot observar com el nivell màxim de potència dels dies laborals (de dilluns a divendres) és més gran que els nivells del cap de setmana, que correspondrien als pics marcats en vermell. Per tant, es pot establir una clara pauta de funcionament del sistema, que es podria modelar en forma d'una funció periòdica en termes de potència transmesa per la base.

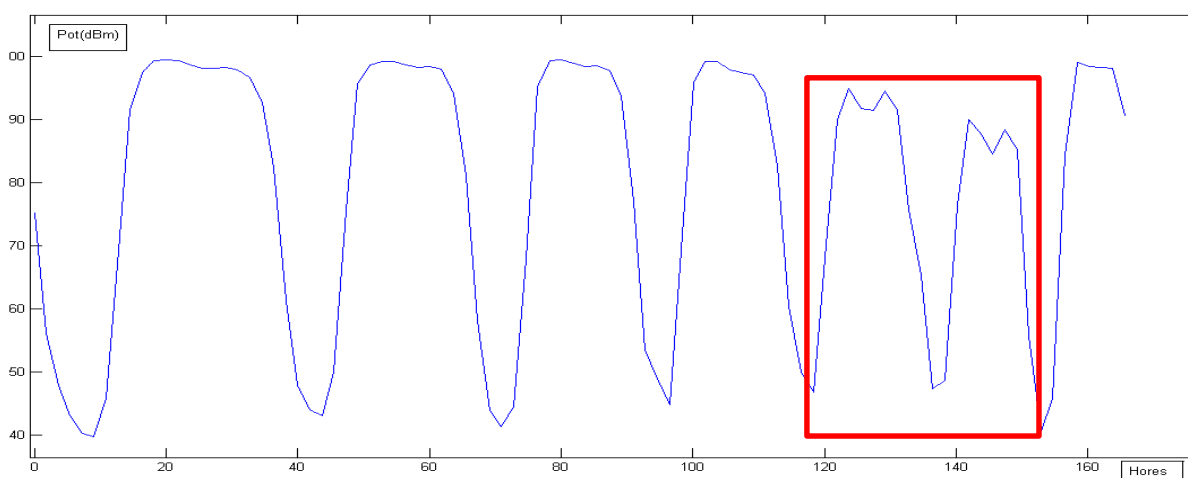


Figura 18: Canal de GSM de la banda de 900 MHz (929,3 MHz - 929,55 MHz)

La figura 19 corresponent al canal UMTS de la banda de 900 MHz. La gràfica porta a uns resultats molt semblants als anteriors. Una diferència que es pot observar en aquest cas però, és que en el cap de setmana, el nivell de potència no disminueix de forma tant significativa com en els dies laborables. Això es degut a que en aquest tipus de servei, les senyals pilot, utilitzades per facilitar el sincronisme temporal i per l'estimació de la resposta temporal del canal, tenen un pes molt important en termes de potència, i per tant, encara que hi hagi una disminució del nombre mitjà d'usuaris actius durant els caps de setmana, aquest efecte queda d'alguna forma amagat pel propi pes de les senyals pilot en el balanç total de potència.

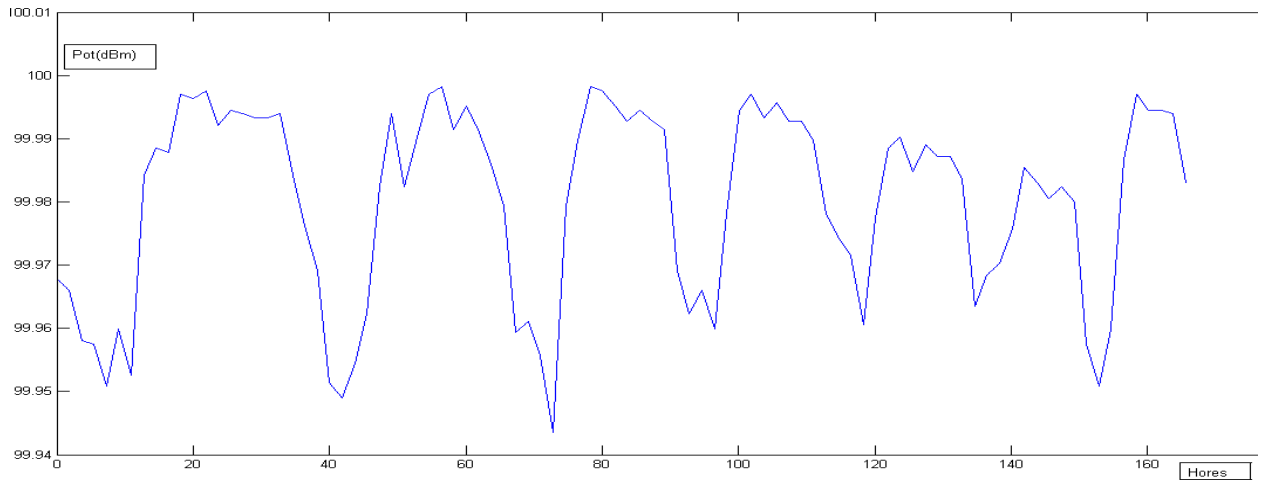


Figura 19: Canal de UMTS de la banda de 900 MHz (929,6 MHz - 934 MHz)

5.2.1.1. Anàlisi freqüència-temps

Per finalitzar el estudi d'aquesta sub-banda s'ha realitzat una gràfica 3D del comportament simultani freqüència-temps dels radio-canalos inclosos en el rang de freqüències entre 925 MHz i 935 MHz. En aquest gràfic s'observa clarament com els canals més propers a 925 MHz tenen una evolució temporal del nivell de potència al llarg de la setmana molt constant. Això indica que probablement es tracta de canals BCCH, que són els que porten la senyalització comú del sistema GSM, i que sempre s'emeten amb la màxima potència assignada, ja que pel bon funcionament del sistema és imprescindible garantir que aquests canals comuns de control sempre es rebin correctament. Seguidament, al voltant de la freqüència de 929 MHz trobem canals amb una marcada oscil·lació de la potència durant la seva evolució temporal. Això indicaria que aquests canals es tracten de canals sols de tràfic d'usuari (no hi ha senyalització comú, sols dedicada), i que per tant segueixen una evolució temporal segons el patró de tràfic generat per aquests usuaris. Posteriorment s'observa altra vegada un canal constant (al voltant de la freqüència de 9,32 MHz), es a dir un altre canal BCCH, i finalment s'observa un altre conjunt de canals amb una marcada variació potència, es a dir, canals sols de tràfic.

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

Observis que aquesta distribució de canals BCCH i canals de tràfic, ens indica de forma força clara que en la banda hi tenim ubicats o bé dos operadors mòbils o bé dos cel·les d'un mateix operador, ja que en tots dos casos, i per raons de propagació, els canals comuns de control s'ubiquen en els radio-canal més baixos de les respectives bandes assignades. De fet mirant les taules d'assignació d'operadors en la banda de 900 MHz, mostrades en el "Annex II – Freqüències assignades als operador Mòbils", podem comprovar que aquesta banda està assignada a Orange i per tant la figura 20 mostra la ocupació spectral en la banda de GSM de dues cel·les d'aquest operador.

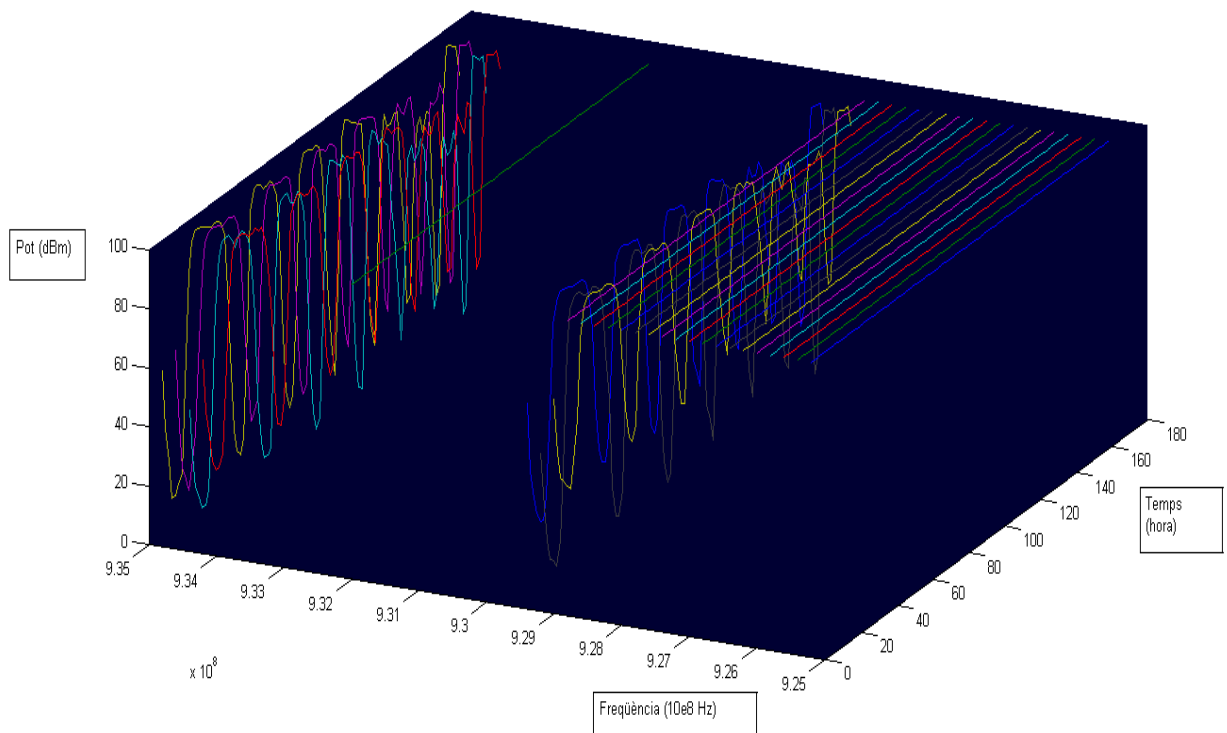


Figura 20: Gràfica 3D de la banda de 900 MHz

Finalment, s'ha realitzat un estudi a nivell de la potència en Watts, els resultants que obtenim porten a les mateixes conclusions obtingudes amb anterioritat.

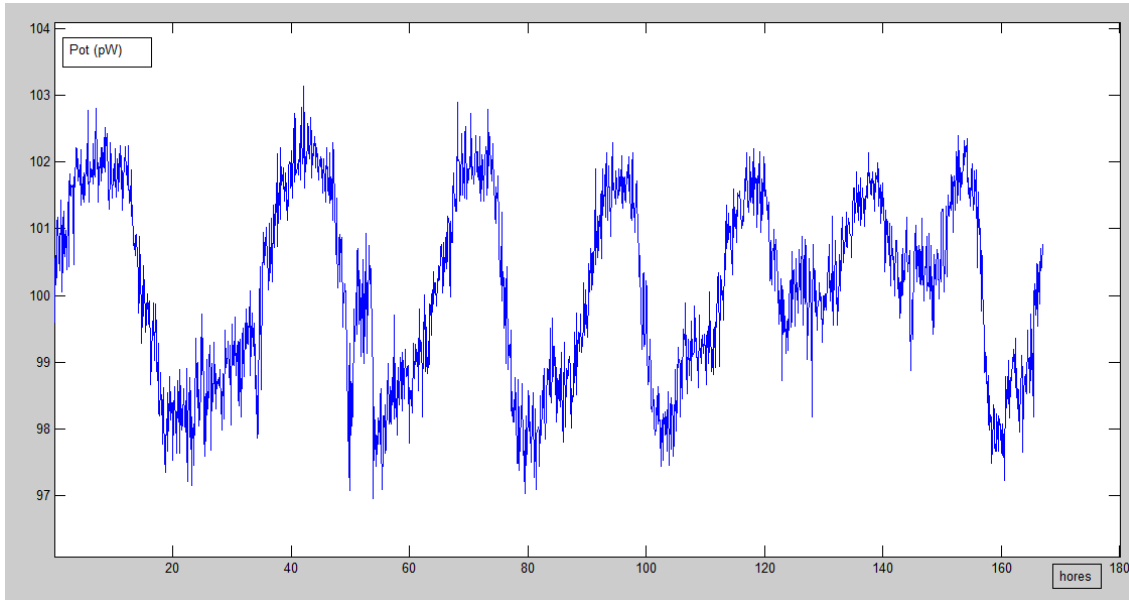


Figura 21: Gràfica de potència d'una setmana d'UMTS 900 MHz

5.2.2. Banda de DCS1800-DL (1810 MHz - 1825 MHz)

La figura 22 mostra el rang de freqüències que s'han observat en la banda de 1800 MHz. Com és pot observar, en aquest rang també coexisteixen dos tipus de serveis, els canals de DCS1800 i els canals de 4G. Com en el cas anterior, també s'ha elegit canals de baixada per detectar amb més precisió les senyals.

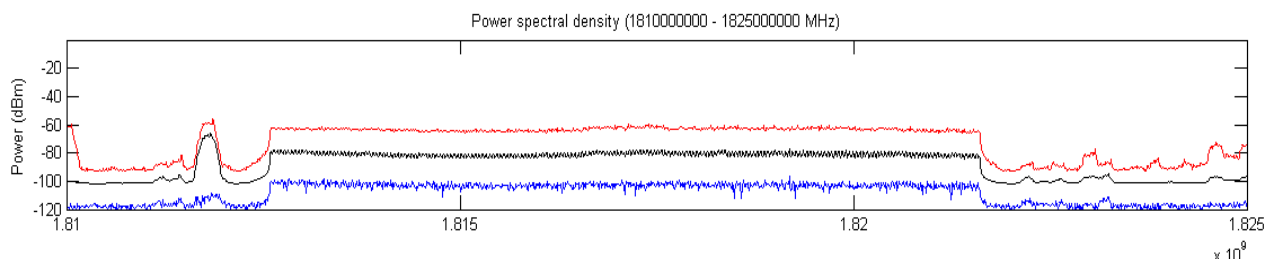


Figura 22: Gràfica de potència del rang de 1800 MHz

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

L'evolució temporal del canal DCS1800 (1824,5 MHz - 18245,7 MHz) és pot observar en la figura 23, i resulta molt semblant a l'evolució dels canals estudiats anteriorment en la banda de 900 MHz. Observem màxims en les hores de Sòl i durant els dies laborables i a les nits i durant els cap de setmana (marcat en vermell) s'observa uns mínims de potència.

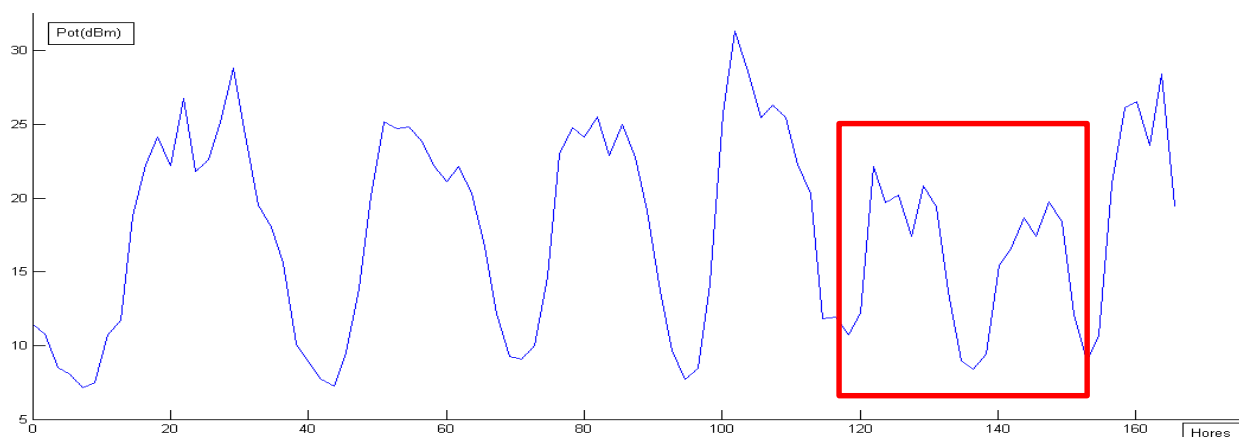


Figura 23: Canal DCS1800 de la banda 1800 (1824,5 MHz - 18245,7 MHz)

L'evolució temporal del canal 4G que s'ha mesurat (s'ha escollit un dels dos que s'observen a la figura 24) és molt similar als demés sistemes estudiats.

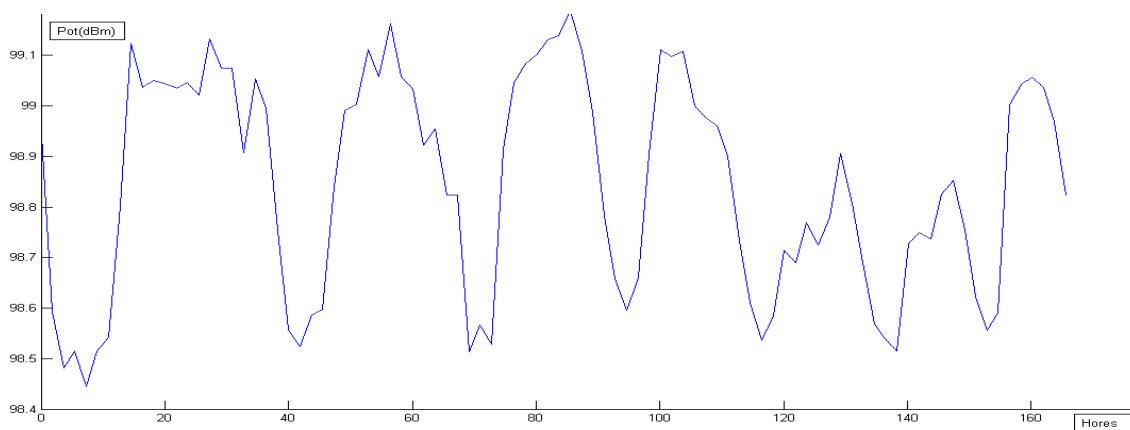


Figura 24: Canal d'un sistema 4G de la banda 1800 (1812 MHz - 1817 MHz)

La figura 25 mostra l'evolució potencial de la banda de 1800 MHz estudiada.

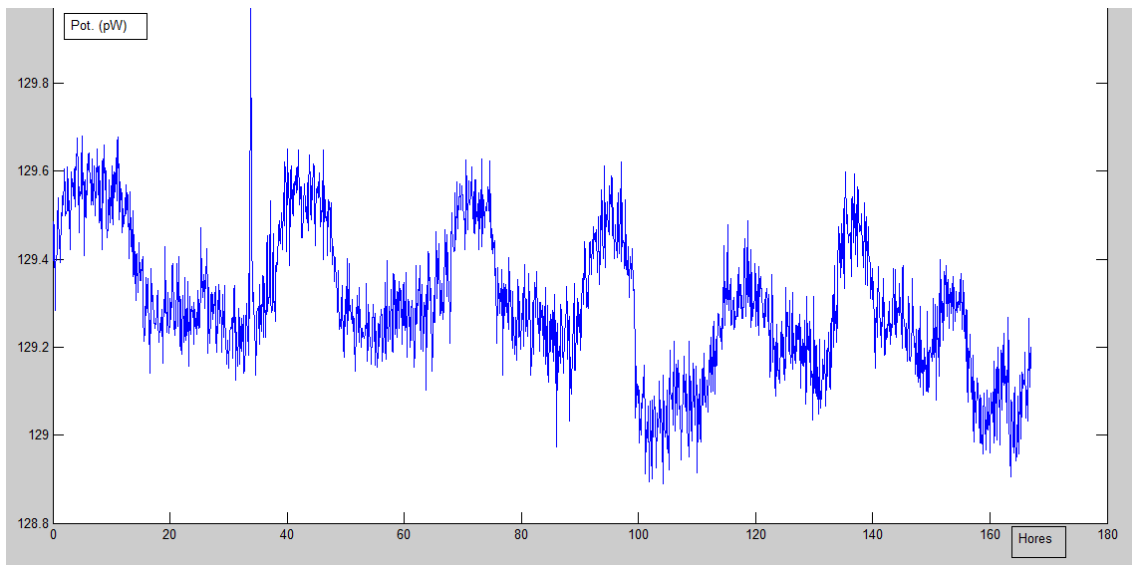


Figura 25: Gràfica de potència d'una setmana del rang 4G 1800 MHz

5.2.3. Banda de 2100-DL (2110 MHz - 2115 MHz)

Finalment s'ha estudiat un canal UMTS de la banda de 2100 MHz.

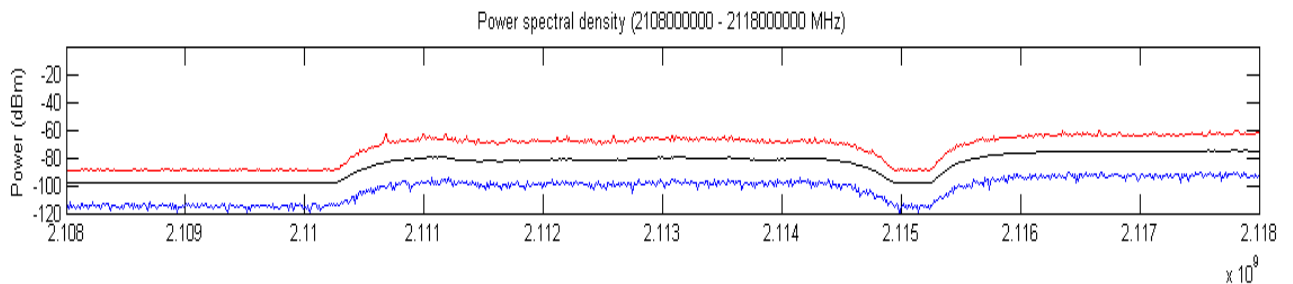


Figura 26: Gràfica de potència del rang de 2100 MHz

En aquest cas es fa una mica més difícil d'observar el comportament, tot i que si que es pot veure que els mínims es produeixen altra vegada en les hores nocturnes. Una diferència important que s'observa respecte als canals anteriors és que es té una silueta molt més "serrada", hi ha més pics que en les anteriors gràfiques. Això fa que en aquesta banda és faci una mica més difícil predir el comportament i sigui una banda amb pics de potència sense una periodicitat tan marcada com en els casos anteriors. En aquest rang, es faria més difícil introduir sistemes cognitius degut a la seva variabilitat.

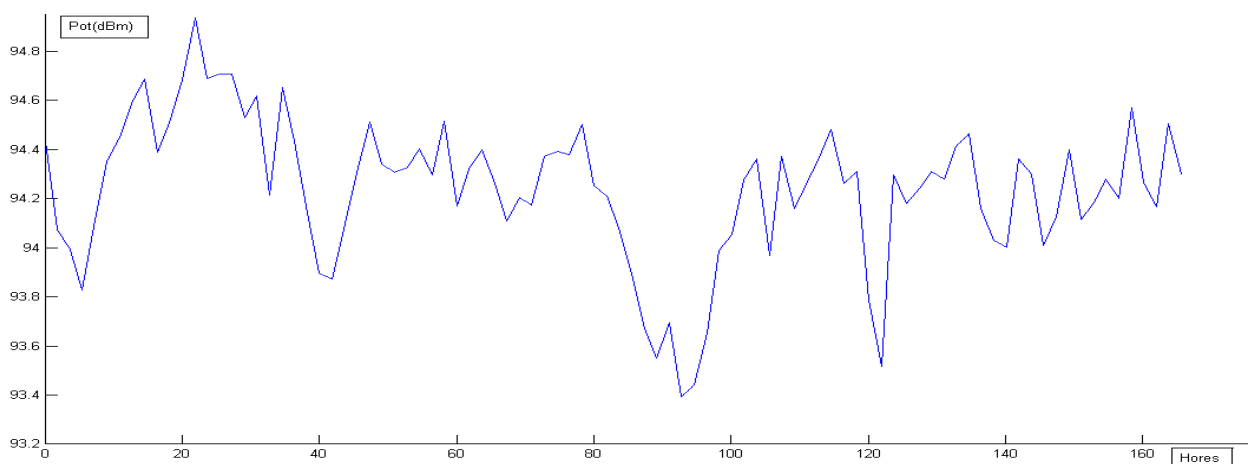


Figura 27: Canal UMTS de la banda 2100 (2110 MHz - 2115 MHz)

Com en els casos anteriors, també s'ha observat l'evolució potencial del rang de freqüències estudiat, com és pot observar, amb molts més pics de potència.

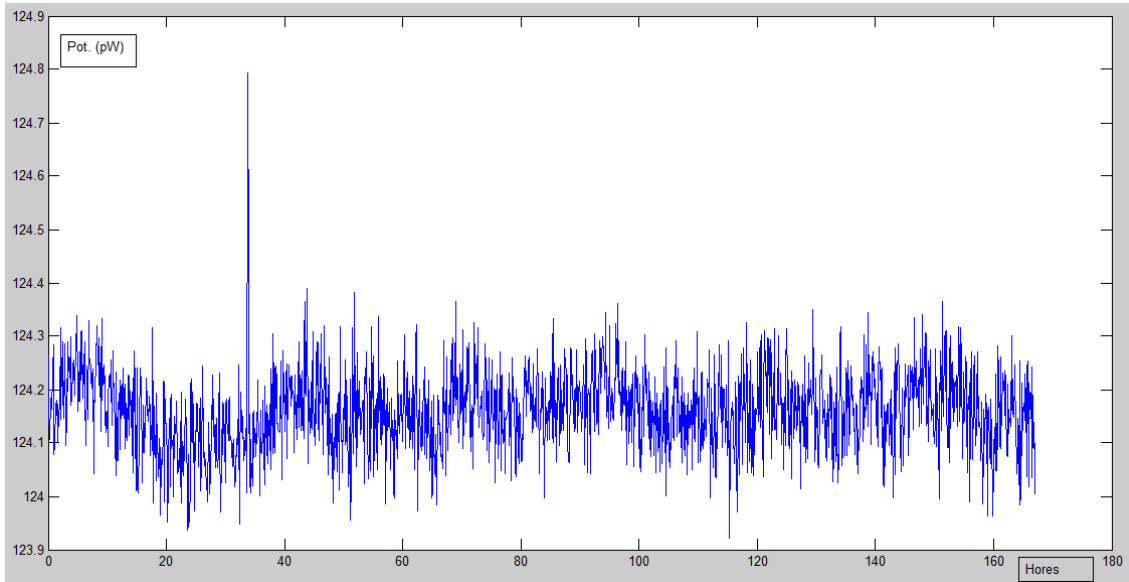


Figura 28: Gràfica de potència d'una setmana d'UMTS 2100 MHz

5.3. Modelat estadístic de l'Ocupació Espectral

Com part dels estudis realitzats, per alguns serveis i bandes d'un cert interès per la radio cognitiva, s'ha intentat fer un modelat estadístic de l'ocupació espectral a partir de la funció de distribució de les senyals mesurades. Aquest modelat pot ser d'interès, ja que ens permetria descriure el comportament estadístic dels usuaris legítims (amb llicència) o usuaris primaris i per tant seria de gran utilitat a la hora de dissenyar/estudiar sistemes de radio cognitiva, sobre tot pel que fa als algorismes de mobilitat espectral.

En particular s'han considerat les següents bandes: 138 MHz - 144 MHz, 174 MHz - 195 MHz i 410 MHz - 430 MHz, que són bandes assignades al servei Mòbil terrestre, però no a sistemes de comunicacions mòbils com GSM, UMTS o LTE.

La funció de probabilitat acumulada o funció de distribució representa una funció (Y) que indica quants valors d'una variable estadística (X) estan per sota del valor indicat per l'abscissa de la funció de distribució (per tant, quina és l'evolució de la funció Y a mesura que anem augmentant el valor de la variable X). Conforme el lliniar tendeix a infinit, la funció Y tendeix a 1 (està normalitzada).

Per calcular aquesta funció s'han seguit els següents passos:

- 1) S'ha agafat les mostres que es volen estudiar, pel cas del treball, com ja s'ha dit anteriorment, el rang de treball ha estat 138 MHz – 144 MHz, 174 MHz – 195 MHz i 410 MHz – 430 MHz.
- 2) S'ha tret el soroll de les mostres mitjançant la funció de *matlab* "treuresoroll" (veure "Annex III – Funcions matlab").
- 3) S'ha creat una funció que va acumulant les mostres que queden per sota del valor de l'abscissa que estem considerant (veure la funció "acumulatiu" a "Annex III – Funcions matlab").
- 4) Finalment s'ha buscat una aproximació a la funció obtinguda i a la seva derivada, per tal de tenir una expressió analítica que ens modeli el comportament dels usuaris primaris o usuaris amb llicència. La gràfica que es representa a la derivada de la funció acumulativa és, de fet, l'histograma de la potencia de les mostres preses.

Per tal de facilitar l'anàlisi, els canal estudiats s'han caracteritzat com: canals d'alta, mitjana i baixa ocupació i s'han calculat les respectives funcions de densitat acumulativa i histogrames.

Els resultats que s'han obtingut seguint aquests passos han estat els següents:

5.3.1. Banda de freqüències 138 MHz - 144 MHz

En la figura 29 es mostra la funció de probabilitat acumulada del nivell de les mostres de senyal observades en tota la banda, i el seu histograma

en potencia (observis que en l'histograma apareixen mitjançant l'espectre de colors, representades totes les mostres freqüencials que s'han pres al llarg del temps, cada color representa una mesura de temps diferent).

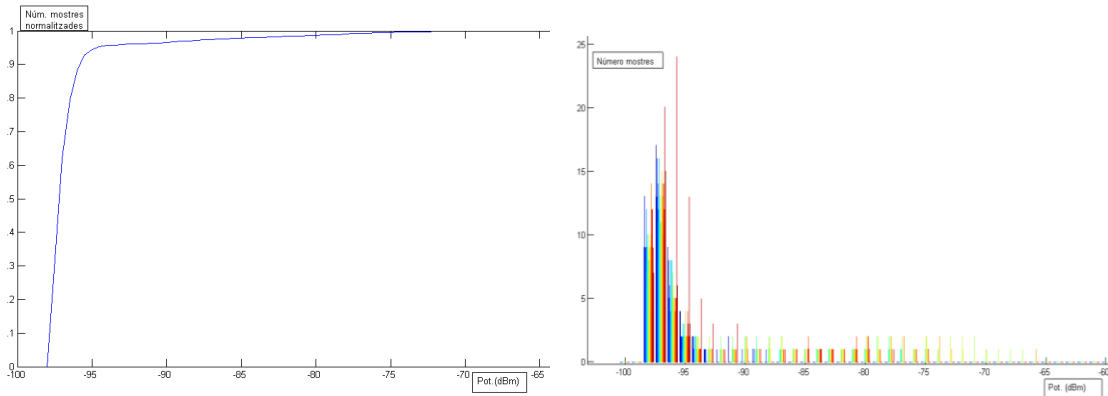


Figura 29: Funció CDF i Histograma (rang 138 MHz - 144 MHz)

A partir de les distribucions estadístiques anteriors s'ha intentat obtenir una expressió analítica, suficientment aproximada que les pogués modelar. En la figura 30 es representen els resultats obtinguts considerant la millor aproximació aconseguida.

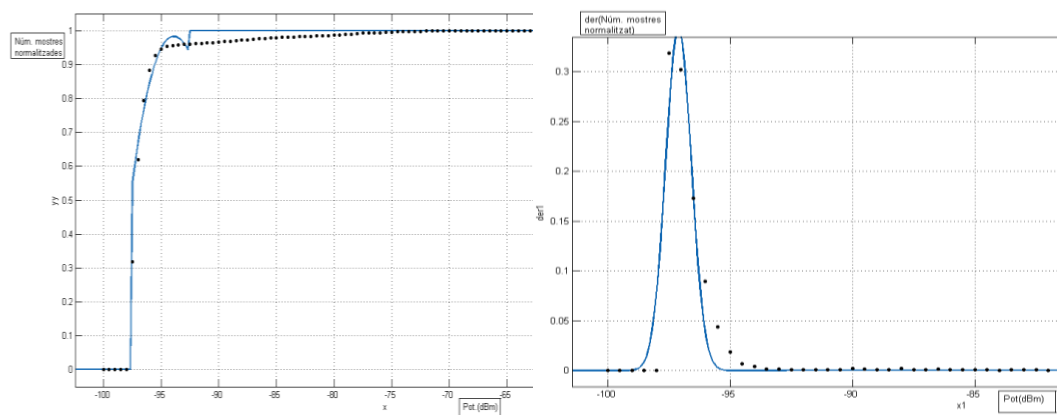


Figura 30: Corba d'aproximació de la funció CDF i la funció derivada de la CDF (rang 138 MHz - 144 MHz)

Pel que fa a l'aproximació de la funció CDF de la figura 30, la millor aproximació és una funció definida a trossos.

- Per $X < -97.5 \rightarrow Y=0$;
- Per $X > -97.5$ i $X < -92.5 \rightarrow Y=\text{funció polinòmica de grau 4}$.

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

- Per $X < -92.5 \rightarrow Y=1$;

a on el polinomi de grau 4 és: $f(X) \cong -2,91 \cdot 10^6 X^4 - 0,01625 X^2 + 0,43 X + 0,094$, tal com indiquen els resultats de la figura 31:

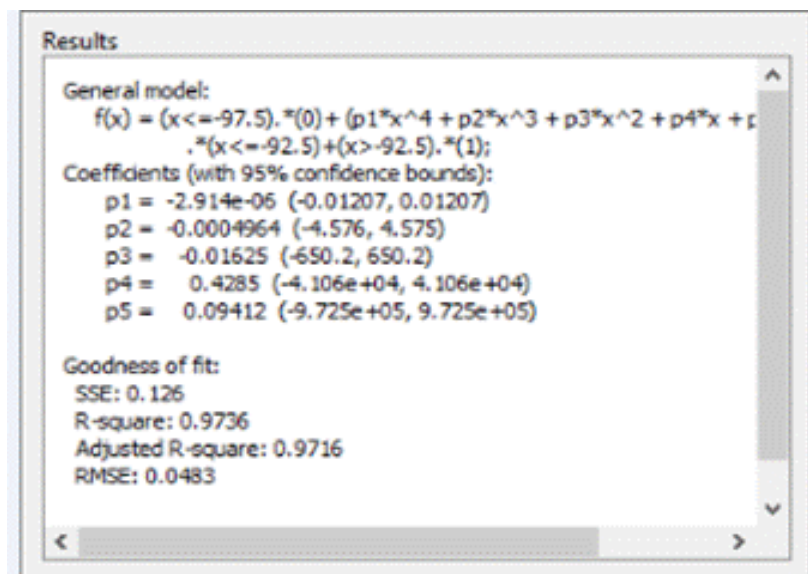


Figura 31: Resultats dels valors de l'aproximació de la funció CDF (rang 138 MHz - 144 MHz)

Pel que fa a l'aproximació de la derivada de la funció CDF, correspon a una gaussiana, de la forma: $f(x) = 0,34 \cdot \exp\left[-\left(\frac{(x+97,1)}{0,735}\right)^2\right]$, tal com es pot observar a la figura 32.

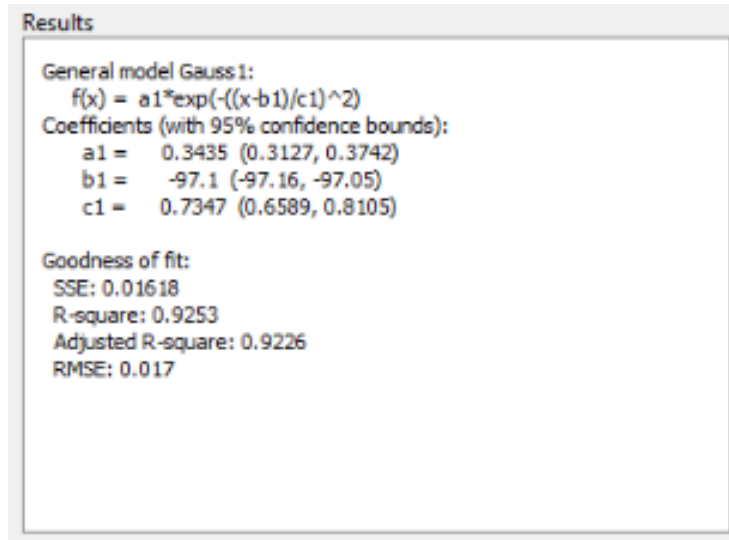


Figura 32: Resultats dels valors de l'aproximació de la funció derivada CDF (rang 138 MHz - 144 MHz)

1. Canal de baixa ocupació:

Per aquesta banda únicament s'han trobat canals de baixa ocupació. A mode d'exemple, s'analitzen les estadístiques del canal 5 .

En la figura 33 es mostra la funció de probabilitat acumulada del nivell de les mostres de senyal observades en aquest canal, i el seu histograma en potencia.

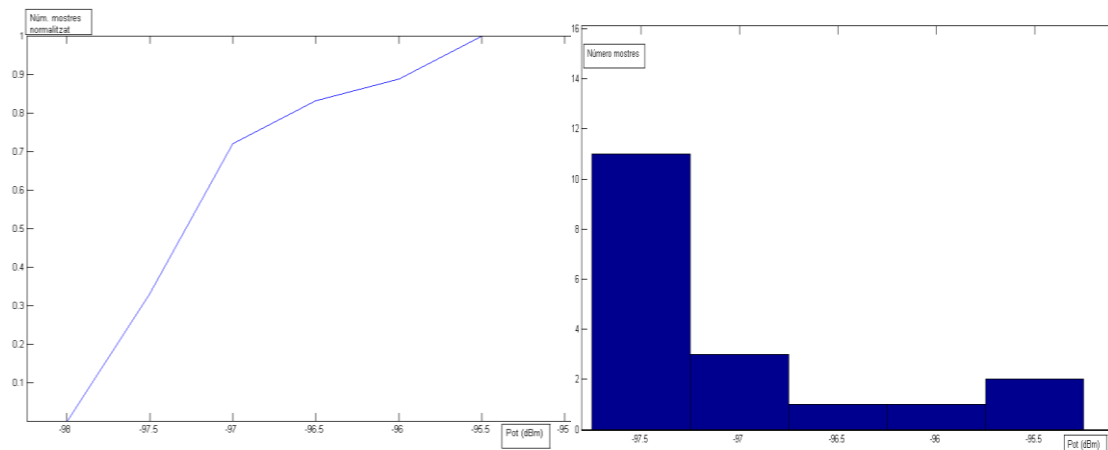


Figura 33: Funció CDF i Histograma (canal 5 de baixa ocupació, rang 138 MHz - 144 MHz)

5.3.2. Banda de freqüències 174 MHz - 195 MHz

En la figura 34 es mostra la funció de probabilitat acumulada del nivell de les mostres de senyal observades en tota la banda, i el seu histograma en potència (notis que en l'histograma apareixen mitjançant l'espectre de colors, representades totes les mostres freqüencials que s'han pres al llarg del temps, cada color representa una mesura de temps diferent).

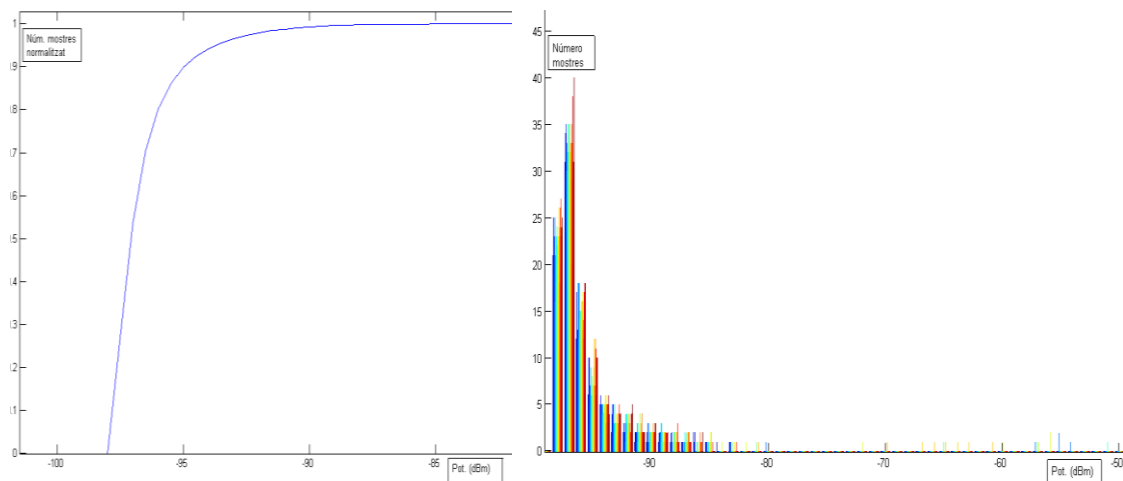


Figura 34: Funció CDF i Histograma (rang 174 MHz - 195 MHz)

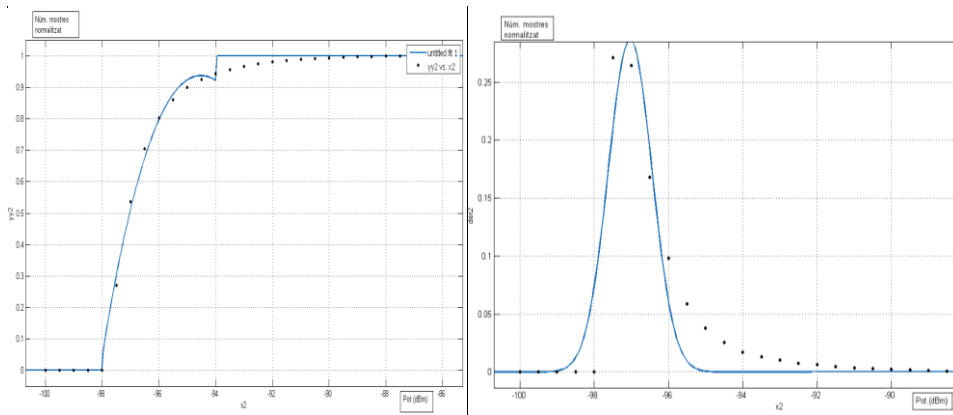


Figura 35: Corba d'aproximació de la funció CDF i la funció derivada de la CDF (rang 174 MHz - 195 MHz)

La funció d'aproximació a la corba CDF és molt semblant a la descrita anteriorment:

- Per $X < -98 \rightarrow Y=0$;
- Per $X > -98$ i $X < -94 \rightarrow Y$ =funció polinòmica de grau 4.
- Per $X > -94 \rightarrow Y=1$;

a on el polinomi de grau 4 es : $f(X) \cong -0,00000291X^4 - 0,0004964X^3 + 0,01625X^2 + 0,4285X + 0,09412$, tal com indiquen els resultats de la figura 36.

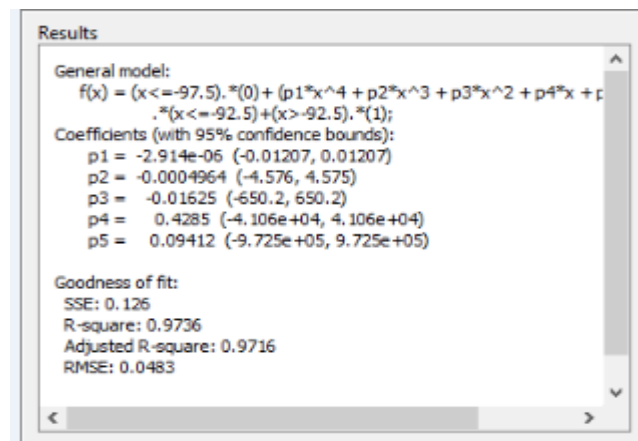
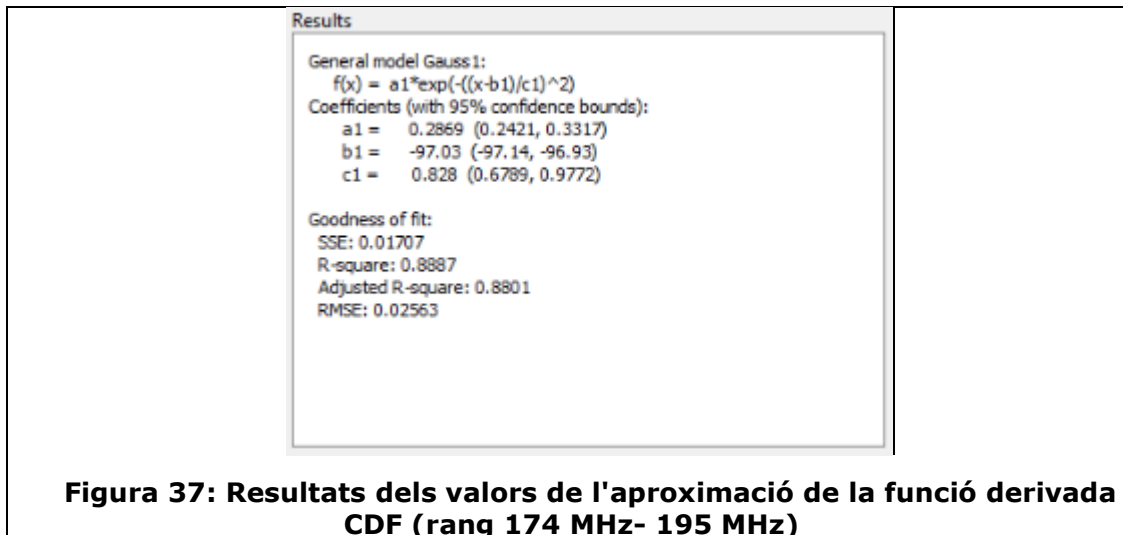


Figura 36: Resultats dels valors de l'aproximació de la funció CDF (rang 174 MHz - 195 MHz)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

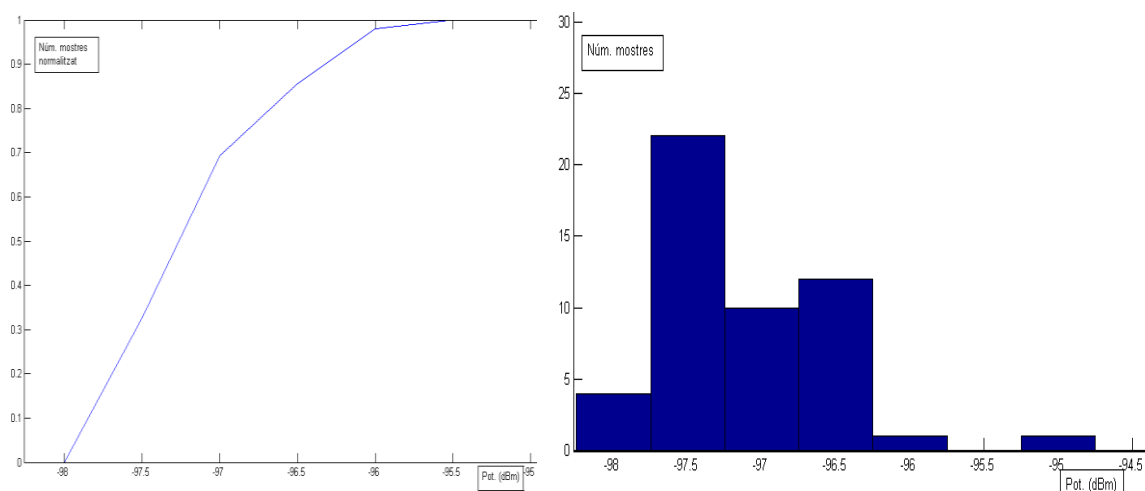
Els paràmetres de l'aproximació de la funció de densitat de probabilitat (derivada de la funció CDF), es poden veure a la figura 37.

$$f(x) = 0,2869 \cdot \exp \left[- \left(\frac{(x - 97,03)}{0,828} \right)^2 \right]$$



Donat que en la banda hi ha canals amb diferents nivells d'ocupació, a continuació es mostren els resultats que s'han obtingut aproximant la seva funció acumulativa i histograma.

1. Canal de baixa ocupació:



2. Canal d'alta ocupació:

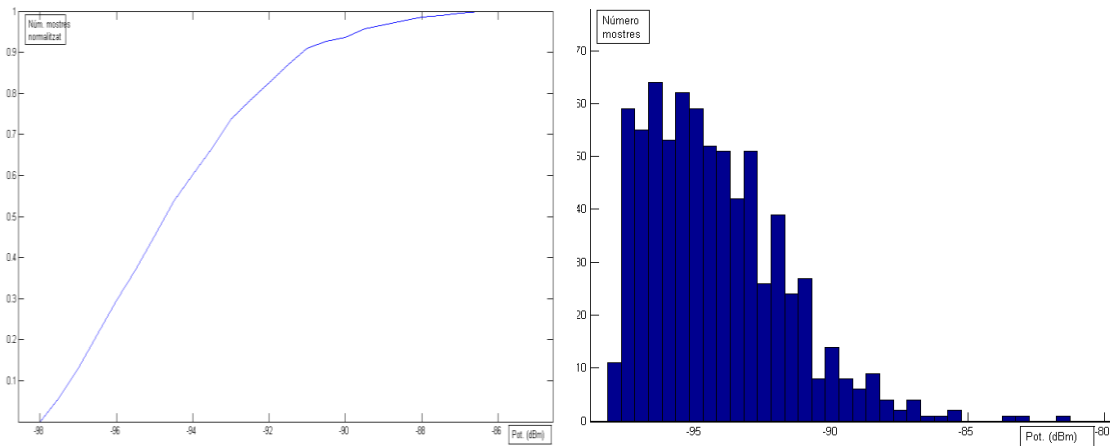


Figura 39: Funció CDF i Histograma (canal 2098 d'alta ocupació, rang 174 MHz - 195 MHz)

5.3.3. Banda de freqüències 410 MHz - 430 MHz

En la figura 40 es mostra la funció de probabilitat acumulada del nivell de les mostres de senyal observades en tota la banda, i el seu histograma en potencia (notis que en l'histograma apareixen mitjançant l'espectre de colors, representades totes les mostres freqüencials que s'han pres al llarg del temps, cada color representa una mesura de temps diferent).

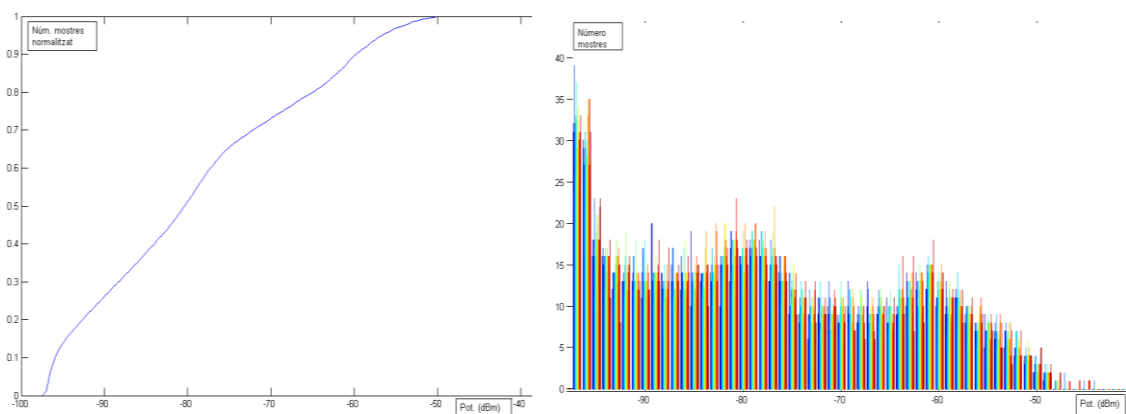


Figura 40: Funció CDF i Histograma (rang 410 MHz - 430 MHz)

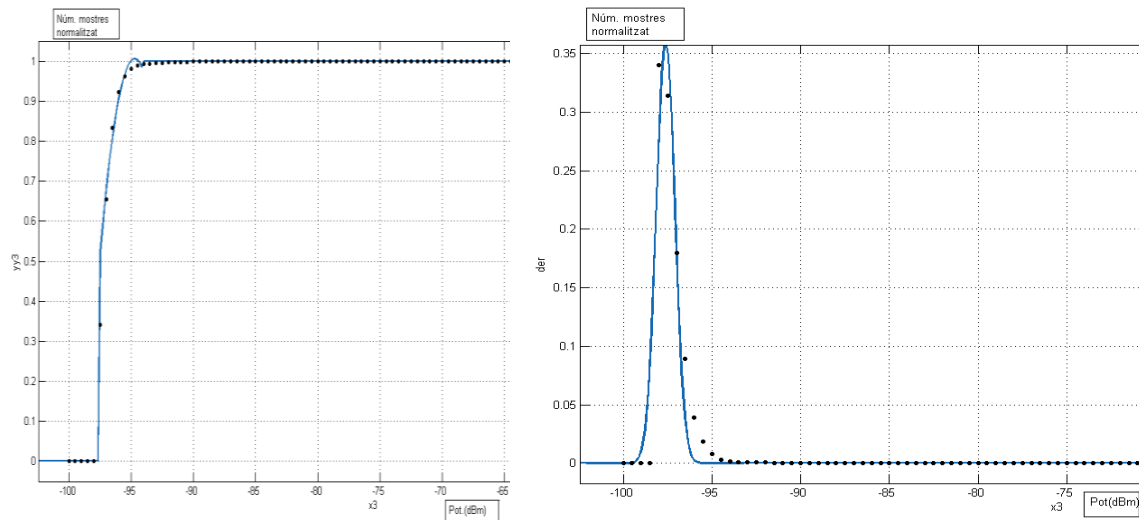


Figura 41: Corba d'aproximació de la funció CDF i la funció derivada de la CDF (rang 410 MHz - 430 MHz)

La funció d'aproximació a la corba CDF té els següents rangs:

- Per $X < -97.5 \rightarrow Y=0$;
- Per $X > -97.5$ i $X < -94 \rightarrow Y$ =funció polinòmica de grau 4.
- Per $X > -94 \rightarrow Y=1$;

a on el polinomi de grau 4 es : $f(X) \cong -0,00000589X^4 - 0,001033X^3 - 0,0379X^2 + 0,7397X + 0,9032$, tal com indiquen els resultats de la figura 42.

Els paràmetres de l'aproximació de la funció de densitat de probabilitat (derivada de la funció CDF) també corresponen a una gausiana. Els paràmetres de ambdues corbes estan recollits en les següents figures.

$$f(x) = 0,3631 \cdot \exp \left[- \left(\frac{(x + 97,62)}{0,7229} \right)^2 \right]$$

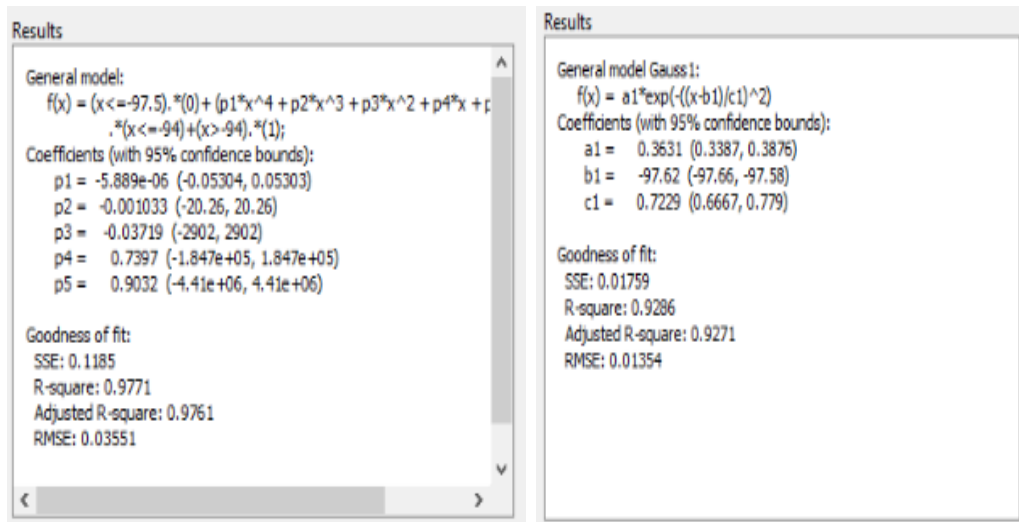


Figura 42: Resultats dels valors de l'aproximació de la funció CDF (rang 410 MHz - 430 MHz) i resultats dels valors de l'aproximació de la funció derivada CDF (rang 410 MHz - 430 MHz)

Com en la banda anteriorment analitzada, aquí també banda hi ha canals amb diferents nivells d'ocupació. A continuació es mostren els resultats que s'han obtingut aproximant la seva funció acumulativa i histograma.

1. Canal de baixa ocupació

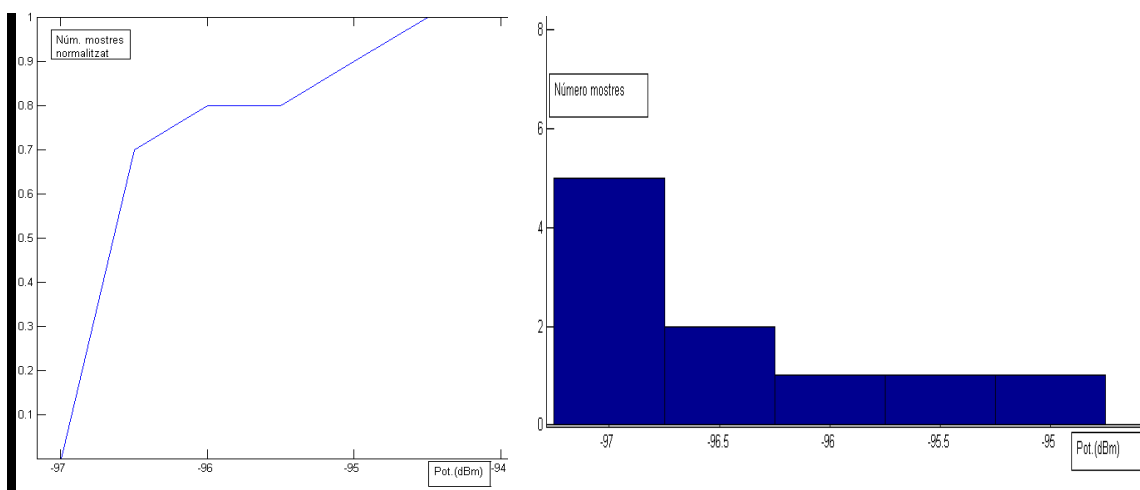


Figura 43: Funció CDF i Histograma (canal 5 de baixa ocupació, rang 410 MHz - 430 MHz)

2. Canal d'ocupació mitjana

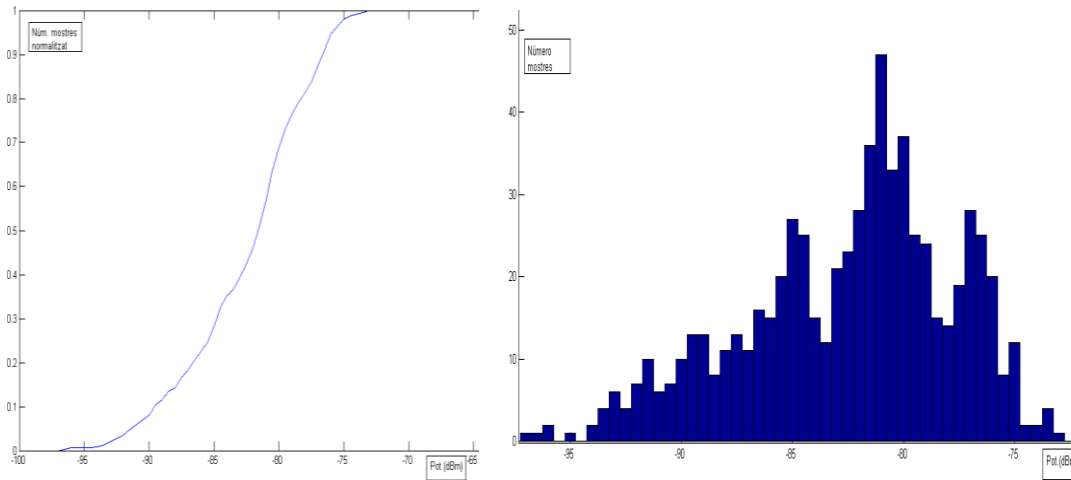


Figura 44: Funció CDF i Histograma (canal 1044 de mitjana ocupació, rang 410 MHz - 430 MHz)

3. Canal d'alta ocupació

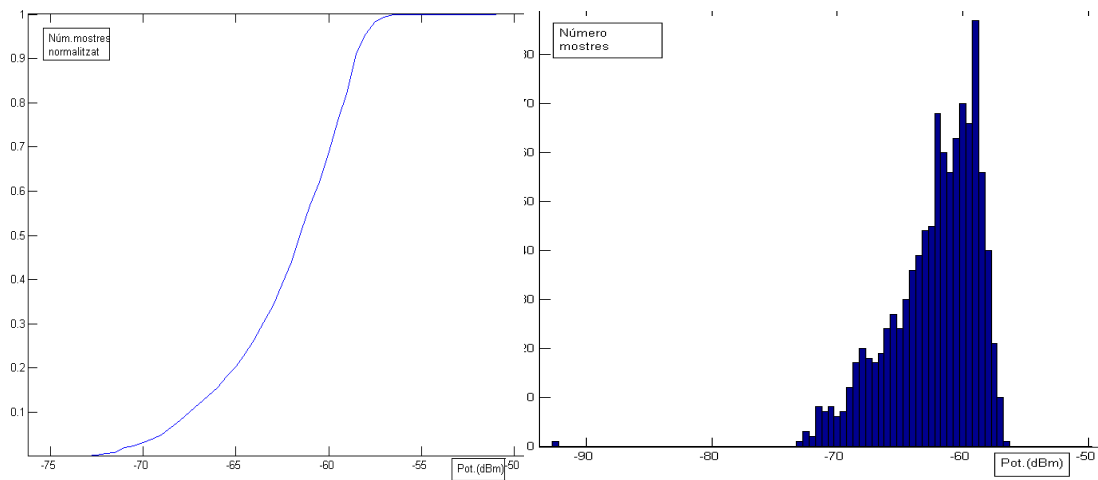


Figura 45: Funció CDF i Histograma (canal 1010 d'alta ocupació, rang 410 MHz - 430 MHz)

6. Conclusions

Les conclusions que es poden extreure una vegada analitzats el resultat són força interessants. Primerament cal recordar que el rang de freqüències que es va analitzar el dia 11/06/2015 va des dels 75,2 MHz fins als 3100 MHz i segons el B.O.E. de 9 de maig 2013, actualitzat B.O.E. de 16 d'abril 2015, aquest rang està totalment ocupat. Com s'ha observat en el present treball, tot i que per llei el rang està ocupat, moltes d'aquestes freqüències resten desocupades la major part del temps. Si ens fixem amb el duty cycle (temps de treball), es veu que en la majoria de freqüències analitzades, l'espectre resta desocupat, i s'observa que pren un valor al voltant del 1,541 % d'ocupació en la majoria dels rangs i serveis. Només sistemes molt concrets com són les freqüències de radio, la TDT, o sistemes com l'UMTS estan realment ocupades la major part del temps. Es poden diferenciar 3 bandes segons el cicle de treball, les quals s'han dividit segons si tenen un cicle de treball Baix (cicle treball < 4 %), Moderat (4 % < cicle treball < 15 %) i Elevat (15 % < cicle treball). En el rang analitzat (75,2 MHz - 3100 MHz) es té un total de 248 serveis, repartits entre tota la banda. D'aquests, 213 estan en bandes amb cicle de treball Baix, 16 a bandes amb cicles de treball Moderat i 19 a bandes amb un cicle de treball Elevat:

Classificació	# Bandes
Baix	213
Moderat	16
elevat	19

Tot i això, s'han definit 10 serveis com a crítics, els quals, tot i estar amb bandes amb una baixa ocupació no poden ser interferits. Aquests sistemes són els següents:

Serveis Crítics	Explicació
RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	S'utilitza en sistemes de navegació aeronàutica, si s'interrompen podrien causar situacions crítiques
MÓVIL AERONÁUTICO	Comunicacions aeronàutiques. Pot utilitzar-se en situacions crítiques d'emergència.
MÓVIL MARÍTIMO	Comunicacions marítimes. Pot utilitzar-se en situacions crítiques d'emergència.
RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE	S'utilitza en sistemes de navegació, si s'interrompen podrien causar situacions crítiques.
MÓVIL MARÍTIMO (socorro y llamada por LLSD)	S'utilitza en casos crítics.
FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS POR SATÉLITE (400,1 MHz)	Senyals periòdiques que serveixen per sincronitzar els dispositius.
Operaciones espaciales	Utilitzada per operacions espacials. Pot utilitzar-se en situacions crítiques d'emergència.
RADIOLOCALIZACIÓN	Pot utilitzar-se en situacions crítiques d'emergència.
RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (espacio-Tierra)	S'utilitza en sistemes de navegació, si s'interrompen podrien causar situacions crítiques.
RADIODETERMINACIÓN POR SATÉLITE	Pot utilitzar-se en situacions crítiques d'emergència.

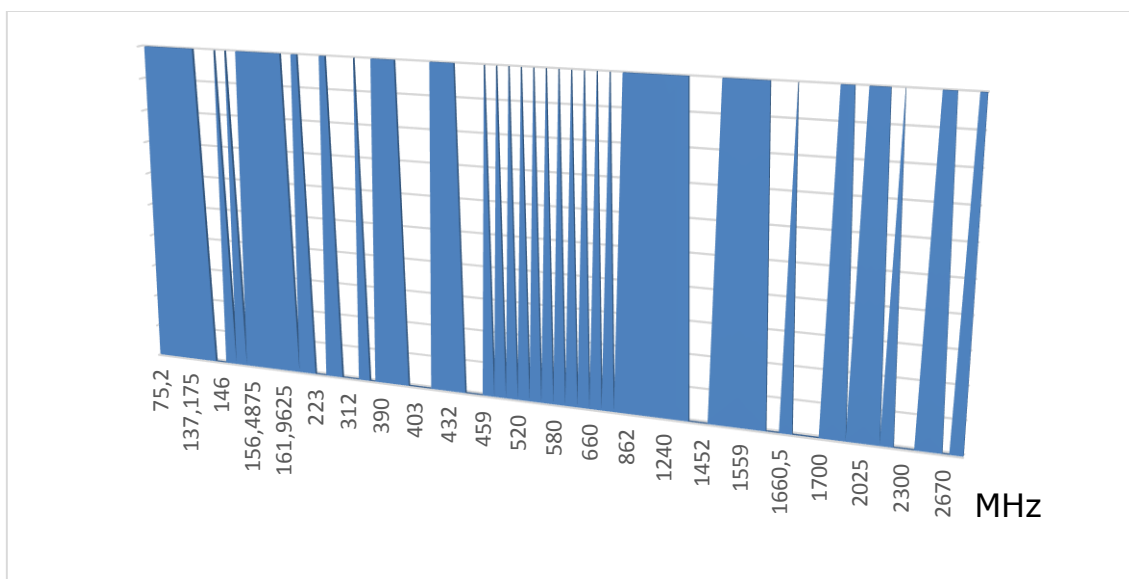
Amb aquesta definició doncs, i tenint amb compte els canals assignats de pujada de la telefonia mòbil que, tot i que s'observi que el nivell de potència en aquests rangs és baix, no els podem ocupar degut a que aquests canals probablement estan sent ocupats per dispositius que emeten a poca potència, finalment es disposa de 47 bandes que no tenen un cicle de treball moderant ni alt i que, a més, no comparteixen freqüència amb sistemes crítics. Aquestes bandes són les bandes que seran candidates a ser utilitzades per sistemes cognitius:

Bandes candidates a ser utilitzades per sistemes cognitius	
Freq. Inicial (MHz)	Freq. Final (MHz)
75,20	87,5
144	146
146	148
148	149,9
150,05	153
154	156,4875
156,8375	161,9625
162,0375	174
223	230
230	235
235	267
273	312
312	315
315	322
322	328,6
335,4	387
387	390
402	403
403	406
406	406,1
406,1	410
410	420
450	455
455	456
456	459
459	460
470	790
1427	1429
1429	1452
1452	1492
1492	1518
1626,5	1660
1660	1660,5
1660,5	1668
1668,4	1670
1670	1675
1675	1690
1690	1700
1700	1710
1980	2010
2170	2200

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

2290	2300
2300	2450
2450	2483,5
2483,5	2500
2670	2690
2690	2700

La gràfica resultant d'aquest anàlisi és la següent⁸:



Gràfica 1: Gràfica que mostra els forats espectrals els quals són sensibles d'introduir els sistemes cognitius

En aquesta gràfica s'observa com, efectivament, existeixen molts forats espectrals en el rang de freqüències analitzat en el treball.

Una conclusió raonable per tant, és que gran part d'aquestes freqüències que en la teoria estan ocupades, en la pràctica no ho estan, i per tant és raonable pensar en aprofitar-les utilitzant la introducció de nous sistemes amb tecnologia cognitiva que permetin treballar a diverses freqüències de treball per tal d'aprofitar al màxim l'espectre freqüencial.

Una altra conclusió que es pot extreure de l'anàlisi de les dades és que s'ha realitzat una assignació excessiva de l'espectre i que caldria fer una

⁸ La banda de 470 MHz – 790 MHz no es pot ocupar tota, hi ha forats espectrals que són els que s'han d'aprofitar pels sistemes cognitius.

revisió d'aquesta assignació per tal de poder incloure futurs sistemes dins d'aquest rang de freqüències (que és el millor per fer un transport de la informació via ràdio, ja que disposa de molta capacitat de penetració en edificis i de llarg abast).

D'altra banda, dins del rang on el cicle de treball és elevat, les freqüències corresponents als cicles de treball Moderat i Elevat, s'ha observat (en les gràfiques⁹ de la secció "5.2. Anàlisi de les bandes de Comunicacions Mòbils",) que existeix una variació del nivell de potència segons l'hora i el dia de la setmana en que s'ha pres la mesura. Per tant, tot i que el cicle de treball de les freqüències corresponents amb aquest rang sigui elevat, podem arribar a la conclusió que en determinades hores concretes on l'activitat sigui menor, es possible aprofitar els radio-canals per altres sistemes cognitius de forma temporal per tal d'aprofitar el recurs espectral. Aquestes hores on el cicle de treball és menor, s'ha demostrat mitjançant el aquest estudi que es tracten de les hores nocturnes i dels caps de setmana.

⁹ Gràfiques extretes amb les mostres d'una setmana.

7. Bibliografia

[1] Joseph Mitola III, Gerald Q. Maguire Jr., «Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal» IEEE Personal Communications, vol. 6, nº 4, 1999.

[2] Cognitive Radio: General Concepts and 802.22:

<http://www.cs.tut.fi/kurssit/TLT-6556/Slides/5-CognitiveRadio.pdf>

[3] Gobierno de España, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, «Cuadro nacional de atribución de frecuencias (CNAF)» Espanya, 2013. [en línia]. Disponible:

<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Espectro/Paginas/CNAF.aspx>

[4]M. Lopez Benitez, F. Casadevall "Description of Spectrum Measurement Platform. Technical Report. Disponible :

http://spoc.upc.edu/Measurement_platform_and_configuration.pdf

[5] PhDThesis_LopezBenitez.pdf

[6] <http://www.torredecollserola.com/>

[7]

https://wiki.bandaancha.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil#Banda_2600

[8]

https://wiki.bandaancha.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil#Banda_800

Annex I – Espectre Radioelèctric: Bandes de freqüències

Frec. Inicial (MHz)	Frec. Final (MHz)	Servei ubicat en la banda	Nivell llindar teòric (dB) Prob de falsa alarma	Nivell llindar real (dB) Prob de falsa alarma
75.2	87.5	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
87.5	108	RADIODIFUSIÓN	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
108	117.975	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
117.975	137	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
137	137.025	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

		(espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico (R)		
137.025	137.175	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil por satélite (espacio-Tierra) Móvil, salvo móvil aeronáutico (R)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
137.175	137.825	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)

		Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico (R)		
137.825	138	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Fijo Móvil por satélite (espacio-Tierra) Móvil, salvo móvil aeronáutico (R	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
138	143.6	MÓVIL AERONÁUTICO (OR) MÓVIL TERRESTRE MÓVIL MARÍTIMO	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
143.6	143.65	MÓVIL AERONÁUTICO (OR) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) MÓVIL TERRESTRE MÓVIL MARÍTIMO	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
143.65	144	MÓVIL AERONÁUTICO (OR) MÓVIL TERRESTRE MÓVIL MARÍTIMO	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

144	146	AFICIONADOS AFICIONADOS POR SATÉLITE	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
146	148	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico (R) FIJO	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
148	149.9	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico (R) MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
149.9	150.05	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
150.05	153	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
153	154	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico (R) Ayudas a la meteorología	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
154	156.487 5	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico (R)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
156.487 5	156.562 5	MÓVIL MARÍTIMO (socorro y llamada por LLSD)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)

156.562 5	156.762 5	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico (R)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
156.762 5	156.787 5	MÓVIL MARÍTIMO Móvil por satélite (Tierra-espacio)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
156.787 5	156.812 5	MÓVIL MARÍTIMO (socorro y llamada)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
156.812 5	156.837 5	MÓVIL MARÍTIMO Móvil por satélite (Tierra-espacio)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
156.837 5	161.962 5	FIJO MÓVIL excepto móvil aeronáutico	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
161.962 5	161.987 5	FIJO MÓVIL excepto móvil aeronáutico Móvil por satélite (Tierra-espacio)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
161.987 5	162.012 5	FIJO MÓVIL excepto móvil aeronáutico	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
162.012 5	162.037 5	FIJO MÓVIL excepto móvil aeronáutico Móvil por satélite (Tierra-espacio)	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
162.037	174	FIJO	-96.8145	-97.95

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

5		MÓVIL, excepto móvil aeronáutico	(0.0023)	(0.0099)
174	223	RADIODIFUSIÓN MÓVIL TERRESTRE	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
223	230	RADIODIFUSIÓN MÓVIL TERRESTRE Fijo Móvil, salvo móvil terrestre	-96.8145 (0.0023)	-97.95 (0.0099)
230	235	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
235	267	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
267	272	FIJO MÓVIL Operaciones espaciales (espacio-Tierra)	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
272	273	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
273	312	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
312	315	FIJO MÓVIL Móvil por satélite (Tierra-espacio)	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
315	322	FIJO	-96.08148	-97.1

		MÓVIL	(0.0022)	(0.0097)
322	328.6	FIJO MÓVIL RADIOASTRONOMÍA	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
328.6	335.4	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
335.4	387	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
387	390	FIJO MÓVIL Móvil por satélite (espacio-Tierra)	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
390	399.9	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
399.9	400.05	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
400.05	400.15	FRECUENCIAS PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS POR SATÉLITE (400,1 MHz	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
400.15	401	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)

		(espacio-Tierra) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) Operaciones espaciales (espacio-Tierra)		
401	402	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATELITE (Tierra-espacio) METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
402	403	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) Móvil, salvo móvil aeronáutico Fijo	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)

403	406	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
406	406.1	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
406.1	410	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIOASTRONOMÍA	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
410	420	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico Investigación espacial (espacio-Tierra)	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
420	430	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
430	432	AFICIONADOS RADIOLOCALIZACIÓN	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
432	438	AFICIONADOS RADIOLOCALIZACIÓN	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
438	440	AFICIONADOS RADIOLOCALIZACIÓN	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
440	450	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

450	455	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
455	456	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
456	459	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
459	460	FIJO MÓVIL	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
460	470	FIJO MÓVIL Meteorología por satélite (espacio-Tierra)	-96.08148 (0.0022)	-97.1 (0.0097)
470	790	RADIODIFUSIÓN Móvil terrestre	-95.8148 (0.0022)	-96.9 (0.0107)
790	862	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSIÓN	-95.9946 (0.0022)	-97 (0.0097)
862	890	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-95.9946 (0.0022)	-97 (0.0097)
890	942	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	-95.9946 (0.0022)	-97 (0.0097)
942	960	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico		

960	1164	MÓVIL AERONAUTICO (R) RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	-95.674 (0.0022)	-96.8 (0.0111)
1164	1215	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (espacio- Tierra) (espacio-espacio)	-95.674 (0.0022)	-96.8 (0.0111)
1215	1240	RADIOLOCALIZACIÓN RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (espacio- Tierra) (espacio-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (activo) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (activo)	-95.674 (0.0022)	-96.8 (0.0111)
1240	1300	RADIOLOCALIZACIÓN RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (espacio- Tierra) (espacio-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (activo) INVESTIGACIÓN	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

		ESPACIAL (activo) Aficionados		
1300	1350	RADIOLOCALIZACIÓN RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (Tierra- espacio)	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1350	1400	FIJO MOVIL RADIOLOCALIZACIÓN	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1400	1427	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1427	1429	OPERACIONES ESPACIALES (Tierra-espacio) FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1429	1452	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1452	1492	RADIODIFUSIÓN RADIODIFUSIÓN POR	-94.5938	-95.6

		SATÉLITE	(0.0024)	(0.0098)
1492	1518	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1518	1525	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra)	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1525	1530	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) FIJO MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Móvil, salvo móvil aeronáutico	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)
1530	1535	OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Exploración de la Tierra por satélite Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	-94.5938 (0.0024)	-95.6 (0.0098)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

1535	1559	MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra)		
1559	1610	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE (espacio- Tierra) (espacio-espacio)	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1610	1610.6	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1610.6	1613.8	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOASTRONOMÍA RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1613.8	1626.5	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA Móvil por satélite (espacio-Tierra)	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1626.5	1660	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1660	1660.5	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOASTRONOMÍA	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)

1660.5	1668	RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1668	1668.4	MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo) Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1668.4	1670	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio) RADIOASTRONOMÍA	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1670	1675	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

		MOVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)		
1675	1690	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1690	1700	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Fijo Móvil, salvo móvil aeronáutico	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1700	1710	METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-94.5289 (0.0021)	-95.6 (0.0101)
1710	1930	FIJO MÓVIL	-93.8297 (0.0032)	-94.8 (0.0106)
1930	1970	FIJO MÓVIL	-93.8297 (0.0032)	-94.8 (0.0106)
1970	1980	FIJO MÓVIL	-93.8297 (0.0032)	-94.8 (0.0106)
1980	2010	FIJO	-93.8297	-94.8

		MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-espacio)	(0.0032)	(0.0106)
2010	2025	FIJO MÓVIL	-93.8297 (0.0032)	-94.8 (0.0106)
2025	2110	FIJO MÓVIL OPERACIONES ESPACIALES (Tierra-espacio) (espacio-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (Tierra-espacio) (espacio-espacio) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (Tierra-espacio) (espacio-espacio)	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)
2110	2120	FIJO MÓVIL INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (Tierra-espacio)	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)
212	2160	FIJO MÓVIL	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)
2160	2170	FIJO MÓVIL	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

2170	2200	FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra)	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)
2200	2290	FIJO MÓVIL OPERACIONES ESPACIALES (espacio-Tierra) (espacio-espacio) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (espacio-Tierra) (espacio-espacio) INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio-Tierra) (espacio-espacio)	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)
2290	2300	FIJO MÓVIL, salvo móvil aeronáutico INVESTIGACIÓN ESPACIAL (espacio lejano) (espacio-Tierra)	-91.5229 (0.0022)	-92.6 (0.0104)
2300	2450	FIJO MÓVIL Aficionados Radiolocalización	-92.151 (0.0022)	-93.2 (0.0101)
2450	2483.5	FIJO	-92.151	-93.2

		MÓVIL Radiolocalización	(0.0022)	(0.0101)
2483.5	2500	FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (espacio-Tierra) RADIODETERMINACIÓN POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Radiolocalización	-92.151 (0.0022)	-93.2 (0.0101)
2500	2520	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-92.2412 (0.0023)	-93.3 (0.0103)
2520	2655	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-92.2412 (0.0023)	-93.3 (0.0103)
2655	2670	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-92.2412 (0.0023)	-93.3 (0.0103)
2670	2690	MÓVIL, salvo móvil aeronáutico	-92.2412 (0.0023)	-93.3 (0.0103)
2690	2700	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (pasivo) RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL (pasivo)	-92.2412 (0.0023)	-93.3 (0.0103)
2700	2900	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA Radiolocalización	-93.2882 (0.0022)	-94.3 (0.0097)

2900	3100	RADIOLOCALIZACIÓN	-92.9724	-94
		RADIONAVEGACIÓN	(0.0024)	(0.0101)

Taula 3 Bandes de freqüències utilitzades en el treball, aquesta taula s'ha extret del B.O.E.

Annex II – Freqüències assignades als diferents Operadors Mòbils

A continuació s'han realitzat uns quadres amb els operadors que operen a cada banda:

Banda 800: dividend digital →

Bloc	Pujada	Baixada	Operador	Concessió	Caducitat
2x5 MHz	832-837MHz	791-796MHz	Orange	01/04 /2015	25/04/2031
2x5 MHz	837-842MHz	796-801MHz	Orange	01/04 /2015	25/04/2031
2x5 MHz	842-847MHz	801-806MHz	Vodafone	01/04 /2015	25/04/2031
2x5 MHz	847-852MHz	806-811MHz	Vodafone	01/04 /2015	25/04/2031
2x5 MHz	852-857MHz	811-816MHz	Movistar	01/04 /2015	25/04/2031
2x5 MHz	857-862MHz	816-821MHz	Movistar	01/04 /2015	25/04/2031

Banda 900 →

Bloc	Pujada	Baixada	Operador	Concesió	Caducitat
2x10 MHz	880.1-890.1 MHz	925.1-935.1 MHz	Orange	07/07/2005	07/07/2020
2x10 MHz	890.1-900.1 MHz	935.1-945.1 MHz	Movistar	03/02/1995	03/02/2020
2x10 MHz	900.1-904.9 MHz	945.1-949.9 MHz	Movistar	-	-
2x10 MHz	904.9-914.9 MHz	949.9-959.9 MHz	Vodafone	03/02/1995	03/02/2030

Banda 1800 →

Bloc	Pujada	Baixada	Operador	Concesió	Caducitat
2x10 MHz	1710.1-1730.1 MHz	1805.1-1825 MHz	Movistar	24/07/1998	31/12/2030
2x10 MHz	1730.1-1750.1 MHz	1825.1-1845.1 MHz	Vodafone	24/07/1998	31/12/2030
2x5 MHz	1750.1-1755.1 MHz	1845.1-1850.1 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030
2x5 MHz	1755.1-1760.1 MHz	1850.1-1855.1 MHz	Yoigo	15/06/2011	31/12/2030

2x4.8 MHz	1760.1- 1764.9 MHz	1855.1- 1859.9 MHz	Yoigo	15/06/ 2011	31/12/20 30
2x20 MHz	1764.9- 1784 MHz	1859.9- 1879.9 MHz	Orange	24/07/ 1998	31/12/20 30

Banda 2100 → 1900 – 1920 MHz TDD

Banda	Ample	Operador
1900-1905 MHz	5 MHz	Orange
1905-1910 MHz	5 MHz	Vodafone
1910-1915 MHz	5 MHz	Movistar
1915-1920 MHz	5 MHz	Yoigo

Banda 2100 → 1920-1980 MHz FDD

Banda	Ample	Operador
1920-1935 MHz	15 MHz	Yoigo
1935-1950 MHz	15 MHz	Orange
1950-1965 MHz	15 MHz	Vodafone
1965-1980 MHz	15 MHz	Movistar

Banda 2100 → 2.11 – 2.17 GHz

Banda	Ample	Operador
2110-2125 MHz	15 MHz	Yoigo
2125-2140 MHz	15 MHz	Orange
2140-2155 MHz	15 MHz	Vodafone
2155-2170 MHz	15 MHz	Movistar

LTE

Freqüència	Banda LTE	Freqüències pujada	Freqüències baixada	Ús actual	Operadors
800	20	832-862	791-821	Utilitzada per la difusió de televisió fins al 31 de març de 2015 (veure dividend digital), actualment s'utilitza per telefonia mòbil 4G/LTE	Movistar, Orange, Vodafone
1800	3	1710-1785	1805-1880	Actualment s'utilitza per telefonia mòbil 2G/GSM i 4G/LTE	Movistar, Orange, Vodafone, Yoigo
2600	7	2500-2570	2620-2690	Actualment s'utilitza per telefonia mòbil 4G/LTE	Movistar, Orange, Vodafone, Varis

Annex III.- Funcions *matlab*

```
-----
function [matriudat]=matriudates(numdates)
x=clock;
matriudat=x;
for i=1:numdates-1
    x(1,6)=x(1,6)+(30);
    matriudat=[matriudat;x];

```

```
end
-----
```

```
-----
function calcular_estadistiques_de_ocupacio(mostres,
frecuencias,vectorthreshold,data,etiquetar, nom)
%NOTA:es guardaran amb el nom que indiquem a mostres

%CALCULAR_ESTADÍSTICAS_DE_OCUPACIÓN Calcula estadísticas d'ocupación
%
% La función CALCULAR_ESTADÍSTICAS_DE_OCUPACIÓN(NOMBRE_BASE, ETIQUETAR)
% calcula las estadísticas d'ocupación para todas las bandas contenidas
% en la carpeta NOMBRE_BASE.
%
% Los resultados quedan almacenados en la carpeta NOMBRE_BASE
%
% Las gráficas generadas quedan almacenadas en la carpeta "Figures". Si
% etiquetar es distinto de cero, las gráficas generadas tendrán
etiquetas
% indicadoras de cada banda

% Creamos un directorio llamado 'Figures' si todaviá no existe.
% Si ya existe aparecerá un aviso de 'warning' por pantalla.
% Para que no aparezca, primero desactivamos los 'warnings'.
warning off
mkdir(nom)

% Matrices globales que almacenarán los resultados
frecuencias_global = [];
PSD_max_global = [];
PSD_mean_global = [];
PSD_min_global = [];
duty_cycle_global = [];

y=mostres';
figure

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Densidad espectral de potencia
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Calcular densidades espectrales de potencia máxima, media y mínima
PSD_max = max(y);
PSD_mean = mean(y);
PSD_min = min(y);

```

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

```

% Agregar a las matrices globales
frecuencias_global = [frecuencias_global frecuencias];
PSD_max_global = [PSD_max_global PSD_max];
PSD_mean_global = [PSD_mean_global PSD_mean];
PSD_min_global = [PSD_min_global PSD_min];

% Dibujar en la gráfica superior
subplot(3,1,1)
h = plot(frecuencias, PSD_max, 'r-',...
frecuencias, PSD_mean, 'k-',...
frecuencias, PSD_min, 'b-');
set(h(:), 'LineWidth', 1)
axis tight
if etiquetar
set(gca, 'YLim', [-120 0])
else
set(gca, 'YLim', [-120 -20])
end
set(gca, 'YTick', -120:20:-20)
set(gca, 'Box', 'On')
ylabel('Power (dBm)')
title(sprintf('Power spectral density (%.0f - %.0f MHz)',
min(frecuencias), max(frecuencias)))

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Ocupación temporal
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Comparamos cada punto del vector amplitudes_total con el umbral de
% decisión correspondiente. La forma más eficiente de hacerlo es
% repetir el vector 'threshold' tantas veces como filas tiene la matriz
% 'amplitudes_total' y realizar una comparación booleana. Para
% convertir los valores booleanos a valores numéricos y poder
% representarlos gráficamente, basta con multiplicar por 1.

occupancy = 1*(y > repmat(vectorthreshold, size(y,1), 1));

%i=1;
%j=1;
%nummostressuperiors=0;
%vector=zeros(31900*30,1);
%for i=1:30
% for j=1:31900
% cont=i-1;
% index=(31900*cont)+j;
% vector(index)=mostres(j,i);
% if vector(index)>= (-95.6)
% nummostressuperiors=nummostressuperiors+1;
% end
% end
% j=1;
%end
%occupancy=nummostressuperiors;
%occupancy=ones(occupancy);

```

```

% Dibujar en la gráfica intermedia
subplot(3,1,2)
if size(occupancy,1) < 5000 % Menos de 5000 trazas
valores_a_dibujar = occupancy;
else % 5000 trazas o más
% Extraemos los elementos de la matriz 'occupancy' de manera
% equiespaciada obteniendo 5000 elementos y lo dibujamos
valores_a_dibujar = occupancy(round(1:size(occupancy,1)/5000:end),:);
end
%mesh(frecuencias_total, 1:size(valores_a_dibujar,1),
valores_a_dibujar);
%view(0,90)
imagesc(frecuencias, 1:size(valores_a_dibujar,1), valores_a_dibujar);
% Importante: la función "imagesc" dibujar por defecto el eje Y en
% dirección invertida, es decir, en orden temporal inverso con lo cual
% se vería la evolución temporal al revés. Los valores del eje Y se
% corresponden con los valores mostrados (es correcto) pero el sentido
% del eje Y es el contrario (el instante cero no empieza abajo por
% defecto sino que empieza arriba, en la parte superior de la gráfica).
% La siguiente línea lo modifica:
set(gca, 'YDir', 'normal')
colormap([1 1 1 ; 0 0 0])
axis tight
set(gca, 'YLim', [1 min([5000 size(occupancy,1)])])
ylabel('Time (hour)')
title(sprintf('Instantaneous spectrum occupancy (%.2d:%.2d:%.2d
%.2d/%.2d/%.4d)', data(1,4), data(1,5), data(1,6), data(1,3), data(1,2),
data(1,1)))
%title(sprintf('Power spectral density (%.0f - %.0f MHz)',
min(frecuencias), max(frecuencias)))
% Pasamos a formato "número de días desde el lene0000
fechas_total = datenum(data);
%fechas_total = datenum(clock);
if size(occupancy,1) >= 5000
fechas_total = fechas_total(round(1:size(fechas_total,1)/5000:end),:);
end
% Fijamos los ticks del eje Y uno cada 6 horas
k = 1;
set(gca, 'YTick', 1) % El primer tick está en el primer instante de
tiempo
set(gca, 'YTickLabel', 0)
while ~isempty(min(find(fechas_total >= fechas_total(1)+0.25*k)))
set(gca, 'YTick', [get(gca, 'YTick') min(find(fechas_total >=
fechas_total(1)+0.25*k))])
k = k+1;
end
% Añadir un tick en el último valor
set(gca, 'YTick', [get(gca, 'YTick') size(fechas_total,1)])
set(gca, 'YTickLabel', [0 (1:k-1)*6 round((fechas_total(end)-
fechas_total(1))*24)])
set(gca, 'Box', 'On')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Duty cycle para PFA 1%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

% Calcular duty cycle
duty_cycle = 100*mean(occupancy);

```

Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

```

% Agregar a la matriz global
duty_cycle_global = [duty_cycle_global duty_cycle];

subplot(3,1,3)
hold on
h = plot(frecuencias, duty_cycle, 'k-');
set(h(:), 'LineWidth', 1)
axis tight
set(gca, 'YLim', [-10 110])
set(gca, 'Box', 'On')
h = plot(frecuencias, zeros(1,length(frecuencias)), 'k:',...
frecuencias, 100*ones(1,length(frecuencias)), 'k:');
set(h(:), 'LineWidth', 1)
set(gca, 'YTick', 0:20:100)
xlabel('Frequency (MHz)')
ylabel('Duty cycle (%)')
title(sprintf('Average duty cycle = %.2f %%',
mean(100*mean(occupancy))))
set(gca, 'Box', 'On')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Etiquetar figuras, si es necesario
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%if etiquetar
% poner_etiquetas(min(frecuencias))
%end

save(fullfile('C:', 'TFG', 'MATLAB May-14', 'Final Version',
'ProjecteArnau', 'programes de prova', 'programa final', nom, [nom ' -
Frecuencias - Global.mat']), 'frecuencias_global');
save(fullfile('C:', 'TFG', 'MATLAB May-14', 'Final Version',
'ProjecteArnau', 'programes de prova', 'programa final', nom, [nom ' - PSD
max - Global.mat']), 'PSD_max_global');
save(fullfile('C:', 'TFG', 'MATLAB May-14', 'Final Version',
'ProjecteArnau', 'programes de prova', 'programa final', nom, [nom ' - PSD
mean - Global.mat']), 'PSD_mean_global');
save(fullfile('C:', 'TFG', 'MATLAB May-14', 'Final Version',
'ProjecteArnau', 'programes de prova', 'programa final', nom, [nom ' - PSD
min - Global.mat']), 'PSD_min_global');
save(fullfile('C:', 'TFG', 'MATLAB May-14', 'Final Version',
'ProjecteArnau', 'programes de prova', 'programa final', nom, [nom ' - Duty
cycle - Global.mat']), 'duty_cycle_global');

-----

function [mitja, variansa, sigma]=funcio(x)
n=length(x);
mitja=mean(x);
%mitja=mean(mitja);
%variansa=sum((x-mean(x)).^2)/n;
variansa=var(x,1);

```

```
%variansa=var(variansa);
sigma=sqrt(variansa);
```

```
-----
Function[percentatge,nummostressuperiors]=comprovacio(mostres,treshold,f
iles,columnes)
i=1;
j=1;
nummostressuperiors=0;
vector=zeros(files*columnes,1);
for i=1:columnes
    for j=1:files
        cont=i-1;
        index=(files*cont)+j;
        vector(index)=mostres(j,i);
        if vector(index)>= treshold
            nummostressuperiors=nummostressuperiors+1;
        end
    end
    j=1;
end
percentatge=nummostressuperiors/(files*columnes);
-----
```

```
-----
function [ vectorpot, data ] = calcularpotencia_v3( mostres,files )
%CALCULARPOTENCIA_V3 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
l=1;
n=20;
vectorpot=[];
pot=0;
potencia=0;
potencia2=[];
potencia3=0;
potencia4=0;
%data=[];
%sum=0;
index=1;
%for k=1:l
for index=1:33580
    for j=1:files
        exp=-(mostres(j,index));
        exp=exp/10;
        pot=10^(exp);
        potencia=potencia+pot;
    end

    potencia2=[potencia2;potencia];
    potencia=0;
end
%for p=1:168
while n<33580
    for i=1:n
        potencia3=potencia3+potencia2(i,1);
    end
    l=l+20;
    n=n+20;
```


Campanya de mesures de l'ocupació de l'espectre al Campus Nord de la UPC

```

potencia4=(10*log10((1/20)*potencia3)); %%He canviat AIXO, TORNA A FER
LES GRAFIKES
vectorpot=[vectorpot;potencia4];
potencia3=0;
%end
end
%vectorpot=[vectorpot;potencia3];
%data=[data;sum];
%sum=sum+1;
%end

```

```

data=(0:1:1677);
data=(data)/10.041916;
%plot(potencia2);
plot(data,vectorpot);

```

```

end

```

```

-----
-----
function [ mdates, mitjana ] = grafica2( matriudades,
matriudates,vectorthreshold )
%GRAFICA Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
k=1;
j=10;
mitjana=[];
dates=[];

for i=1:3358

    y=matriudades(:,k:j);
    d=matriudates(k,:);
    dates=[dates;d];
    k=k+10;
    j=j+10;
    y=y';
    duty_cycle_global=0;
    occupancy = 1*(y > repmat(vectorthreshold, size(y,1), 1));
    duty_cycle = 100*mean(occupancy);

    mitja=mean(duty_cycle);
    %mitja=mean(mi);
    mitjana=[mitjana mitja];

end
mdates=datetime(dates);
%mdates=dates;
plot(mdates,mitjana);

end
-----
-----

```

```

function [ vectorsensoroll ] =
treuresoroll(mostres,treshold,files,columnnes)
%TREURESOROLL Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
i=1;
j=1;
vectorsensoroll=zeros(files,columnnes);
for i=1:columnnes
    for j=1:files

        if mostres(j,i)>= treshold
            vectorsensoroll(j,i)=mostres(j,i);
        else
            vectorsensoroll(j,i)=0;
        end
    end
    j=1;
end

end

-----

function [x,y]=acumulatiu(mostres,files,columnnes,max,min)
i=1;
j=1;
num=max-min;
num2=num*2;
num2=num2-1;
y=(1:0.5:num);
x=(1:0.5:num);
vector=zeros(files*columnnes,1);
t=min;
cont=1;
sum=0;
norm=0;
for cont=1:num2
    for i=1:columnnes
        for j=1:files
            if mostres(j,i)<= t
                sum=sum+1;
                norm=sum;
            end
        end
        j=1;
    end
    y(cont)=sum;
    x(cont)=t;
    t=t+0.5;
    sum=0;
end

-----

```