



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL DE FI DE CARRERA

**TÍTOL DEL TFC: Procediment per mesurar camps electromagnètics en
ambients docents.**

**TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica de Telecomunicació, especialitat
Sistemes de Telecomunicació**

AUTOR: Juan Manuel Cadena Martin

DIRECTOR: Jordi Berenguer i Sau

DATA: 25 de juliol de 2011

Títol: Procediment per mesurar camps electromagnètics en ambients docents.

Autor: Juan Manuel Cadena Martin

Director: Jordi Berenguer i Sau

Data: 25 de juliol de 2011

Resum

La tecnologia sense fils LAN (Local Area Network) com és Wi-Fi, és una de les més utilitzades per donar servei d'accés a Internet en un gran nombre d'escoles arreu del món, això és degut al preu més barat enfront de tecnologies d'accés per cable. D'altra banda Wi-Fi ofereix flexibilitat i mobilitat als usuaris.

D'acord amb l'últim informe Eurobaròmetre del 2008, sobre xarxes de comunicacions electròniques i serveis, realitzat per la Direcció General per a la Societat d'Informació i Mitjans de Comunicació de la Comissió Europea, un 68% de les llars en Espanya utilitzen un sistema de tecnologia Wi-Fi com accés a Internet.

Tot i això, comencen a escoltar-se veus denunciant els perills que poden suposar per a la salut les tecnologies sense fils a les escoles. La seva justificació és que molts científics han fet experiments d'exposició a les radiacions electromagnètiques amb nivells similars o més baixos que els de la tecnologia Wi-Fi i han trobat implicacions que afecten la salut. Volen que es prohibeixi a les escoles l'accés a Internet amb tecnologia Wi-Fi i s'instal·lin tecnologies d'accés cablades.

L'octubre de 2010, el sindicat espanyol CCOO exigia controls periòdics sobre radiacions Wi-Fi en les escoles.

El 2001, el govern espanyol va transposar en un Reial Decret els nivells d'exposició a camps electromagnètics recomanats per la Unió Europea.

Tot i que fent càlculs es pot demostrar que els nivells d'exposició a les radiofreqüències dels aparells Wi-Fi són menors que els regulats en el Reial Decret, moltes associacions de pares volen que es prenguin mesures de nivells d'exposició en les escoles on estudien els seus fills.

La notícia, en maig de 2011, de l'Agència Internacional per a la Recerca del Càncer (IARC), agència de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), que ha classificat els Camps Electromagnètics de Radiofreqüència en el grup 2B, com a possible carcinogen per als humans, ha fet incrementar la preocupació dels familiars dels alumnes.

La realització d'aquest treball es justifica per una banda en la necessitat de prendre mesures de nivells d'exposició per intentar tranquil·litzar a les famílies dels alumnes, d'altra banda en el fet que els nivells d'intensitat de camp elèctric amidats, poden tenir molta dispersió a causa del procediment de mesura utilitzat, de la pròpia tecnologia sense fils i de l'equipament utilitzat per prendre les mesures de nivells d'exposició.

Els objectius d'aquest treball són:

- Dissenyar un procediment de mesura que pugui servir com a instrucció tècnica per a la presa d'aquestes en ambients docents, intentant que la dispersió en els nivells d'exposició no sigui massa elevada. Al mateix temps que fer una guia didàctica per a persones sense coneixements tècnics.
- Prendre les mesures d'exposició d'acord amb la normativa vigent actualment.

La base del procediment de mesura està en concordança amb la legislació espanyola, fent algunes modificacions per adaptar-la a la tecnologia Wi-Fi.

Per tal de comprovar el procediment de mesura, s'han pres mesures reals en una escola, aconseguint uns resultats acceptables.

Les conclusions més destacables que es poden extreure són:

1. Els nivells d'exposició provocats pels sistemes de telecomunicació amb tecnologia Wi-Fi, compleixen els valors de referència de la legislació actual.
2. Els nivells més alts d'exposició a les aules, són provocats pels ordinadors portàtils dels alumnes.
3. La dispersió màxima dels valors amidats vàlids, amidats en un període de 6 minuts, és de 8,3 dB.

Title: Procedure to measure electromagnetic fields in teaching environments

Author: Juan Manuel Cadena Martin

Director: Jordi Berenguer i Sau

Date: July, 25th 2011

Overview

Wi-Fi is a wireless LAN (Local Area Network) technology used to get Internet access by a large number of schools around the world. The reason is the cheaper price compared to cable access technologies. On the other hand, Wi-Fi offers flexibility and mobility to the users.

According to the last Eurobarometer report in 2008, about electronic communications networks and services, carried out by the European Commission's Directorate-General for the Information Society and Media, 68% of households in Spain are getting Internet access using a Wi-Fi technology

Nevertheless, there are some voices warning about health dangers from wireless technology at schools. They say a lot of scientists have carried out experiments on electromagnetic radiation similar to or lower than Wi-Fi and found health implications. They want to change Wi-Fi access for cable access.

On October 2010, the Spanish trade union CCOO required periodic controls on Wi-Fi radiation at schools.

A Royal Decree approved by the Spanish Government in 2001, imposed the levels of exposure to electromagnetic fields recommended by the European Community.

Even though calculations can show that the levels of radio frequency of Wi-Fi equipment are lower than those in the Royal Decree, many parents' associations want these measured in the schools their children attend.

News, on May 2011, from the International Agency for Research on Cancer (IARC), a World Health Organization (WHO) agency, which has classified Radiofrequency Electromagnetic Fields into the 2B group, as possibly carcinogenic to humans, has raised parents' concern.

The aim of this work is, on the one hand, to try to reassure parents by measuring electromagnetic field levels in the schools. On the other hand, there is a great dispersion showed in the levels measured, depending on the different measuring procedure used, the wireless technology itself and the equipment used for measuring.

The aims of this work are:

- Design a measuring procedure providing technical instructions to measure electric fields in teaching environments, trying to reduce the dispersion of measurements. While a teaching guide for people without technical skills.
- Carry out the measurements in accordance with regulations

The basis of this procedure is in accordance with the Spanish law, making some modifications in order to adapt it to Wi-Fi technology.

In order to test this procedure, measurements were taken in a school, obtaining acceptable results.

Some of the most important conclusions are:

1. Exposure levels from Wi-Fi technologies are always according to regulations.
2. The highest levels of exposure came from the pupils' laptops.
3. The highest dispersion of measurements with valid levels, averaged over a period of 6 min, is 8.3 dB.

DEDICATÒRIA

Vull agrair, en primer lloc, al meu director de projecte l'ajuda i el recolzament que m'ha donat no només amb aquest projecte, sinó durant tot el temps que he estat cursant la carrera.

En segon lloc, vull agrair als professors que han tingut paciència amb mi i m'han donat les explicacions necessàries per entendre conceptes que m'han obert portes del coneixement.

En tercer lloc, vull agrair al director de l'escola IES Mediterrània les facilitats que m'ha donat per prendre mesures d'exposició a camps electromagnètics en aquesta escola.

En quart lloc, vull agrair a totes les persones que m'estimen i que m'han recolzat en alguns moments difícils.

Per últim, vull dedicar aquest treball a la meva esposa, que sempre he tingut al meu costat.

Juan Manuel Cadena Martin

Juliol de 2011

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	1
CAPÍTOL 1 FONAMENTS TÈCNICS	4
1.1 L'estàndard 802.11	4
1.1.1 La capa física	5
1.1.2 La cel·la i la capa MAC	6
1.1.2.1 La capa MAC	7
1.1.3 Variants de l'estàndard 802.11 i els seus paràmetres	8
1.1.4 Ús de l'espectre	8
1.2 Radiocomunicació	10
1.2.1 Antenes	11
1.2.1.1 Diagrama de radiació	12
1.2.1.2 Factor d'antena	13
1.2.2 Propagació	13
1.2.3 Models de propagació	17
1.2.4 Polarització	17
1.3 Sistemes MIMO	18
CAPÍTOL 2 CAMPS ELECTROMAGNÈTICS I SALUT	20
2.1 Recomanacions i legislacions internacionals	20
2.1.1 ICNIRP	20
2.1.2 Altres recomanacions internacionals i europees	25
2.2 Legislació a l'Estat Espanyol	26
2.3 Legislació de la Generalitat de Catalunya	27
2.4 Recomanacions no reconegudes com estàndards	28
2.5 Estat actual de les investigacions en camps electromagnètics relacionats amb la salut infantil	29
CAPÍTOL 3 DESENVOLUPAMENT DEL PROCEDIMENT DE MESURA	32
3.1 Consideracions prèvies	32
3.2 Procediment de mesura	36
3.2.1 Fase prèvia a la presa de mesures	37
3.2.2 Mesures d'exposició sense dades a través del punt d'accés Wi-Fi	39
3.2.3 Mesures d'exposició provocades pel punt d'accés	40
3.2.4 Mesures d'exposició provocades pels ordinadors portàtils	41
CAPÍTOL 4 CONCLUSIONS	44
CAPÍTOL 5 REFERÈNCIES	45

ANNEXOS

ANNEX 1	TERMES CLAU AMB DEFINICIÓ CORRECTA.....	A1.1
ANNEX 2	ACRÒNIMS I SIMBOLS.....	A2.1
ANNEX 3	MESURES REALS EN UNA ESCOLA.....	A3.1
A3.1.	Fase prèvia a la presa de mesures.....	A3.1
A3.2.	Relació d'aparells per prendre les mesures.....	A3.5
A3.3.	Presa de les mesures.....	A3.6
A3.4.	Relació de mesures preses.....	A3.9
A3.4.1	Presa de mesures sense enviar dades.....	A3.9
A3.4.1.1	<i>Relació dels amidaments segons la Fig. A3.8.....</i>	<i>A3.9</i>
A3.4.2	Presa de mesures amb els punts d'accés transmetent.....	A3.12
A3.4.2.1	<i>Relació dels amidaments segons la Fig. A3.10.....</i>	<i>A3.12</i>
A3.4.3	Presa de mesures amb els ordinadors transmetent.....	A3.15
A3.4.3.1	<i>Relació dels amidaments segons la Fig. A3.11.....</i>	<i>A3.16</i>
A3.5.	Conclusions dels amidaments obtinguts.....	A3.22
A3.6.	Datasheets dels punts d'accés.....	A3.25

INTRODUCCIÓ

L'any 2005 la Generalitat de Catalunya, a través de Red.es, entitat pública empresarial adscrita al Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, va dotar d'infraestructures de cablatge de xarxa d'àrea local i Wi-Fi a 328 centres dependents del Departament d'Educació, l'objectiu era donar accés a Internet en banda ampla als espais docents d'aquests centres per al professorat.

Entre el 2006 i el 2008 es va portar a terme el cablatge i l'accés Wi-Fi de 2001 centres educatius, amb l'objectiu de fer arribar Internet en banda ampla a tots els espais d'aquests centres per al professorat en el marc del Projecte Heura [1].

Des de l'any 2009 s'està desenvolupant un nou projecte anomenat educat1x1 [2], amb l'objectiu d'integrar plenament les tecnologies de la informació i de la comunicació (TIC) a les aules dels centres educatius. Aquest projecte preveu l'ús d'un ordinador portàtil per cada alumne o alumna i pretén transformar les aules convencionals en "aules digitals". La tecnologia utilitzada principalment per a la connexió en xarxa d'aquests ordinadors portàtils és la tecnologia Wi-Fi.

La tecnologia Wi-Fi facilita l'establiment de la connexió de Banda Ampla amb avantatge econòmic enfront d'una xarxa cablada. Per aquesta raó, ha estat adoptada a moltes escoles d'arreu del món.

Amb aquests antecedents, la controvèrsia de les antenes de telefonia mòbil i la salut, s'ha traslladat al món dels centres docents amb el punt de mira posat en les tecnologies sense fils.

La Universitat de Lakehead, a Ontario, Canadà, ha suprimit les connexions Wi-Fi a tots els llocs on no es pugui accedir a Internet amb fibra òptica. Fred Gilbert, president de la Universitat, va dir: «*Potential health effects! There are now so many peer-reviewed studies demonstrating biological effects that it is difficult to imagine that there are no negative health effects*» (sic) [3].

El Ministeri Federal Alemany de Medi Ambient va afirmar, com a mesura de precaució, que són preferibles els sistemes de transmissió de dades per cable als sistemes Wi-Fi i recomanava, sempre que fos possible, a escoles i centres d'ensenyament que evitessin els sistemes Wi-Fi [4].

L'octubre de 2010, la federació d'ensenyament de CCOO va demanar controls periòdics als centres docents de les radiacions emeses per la tecnologia Wi-Fi [5].

Per altra banda i incongruentment, segons l'últim Eurobaròmetre publicat per la Comissió Europea el juny de 2008, sobre les comunicacions electròniques a la llar, a l'Estat Espanyol un 68% de les llars que disposen de connexió a Internet utilitza tecnologies sense fils [6].

El 2001, el govern espanyol va transposar en un Reial Decret els nivells d'exposició a camps electromagnètics recomanats per la Unió Europea.

Tot i que es poden calcular els nivells de densitat de potència esperats en un punt determinat i d'aquesta manera confirmar el compliment amb la normativa vigent, les associacions de pares i mares d'alumnes, a més de la federació d'ensenyament de CCOO, volen que es prenguin mesures de nivells d'exposició a les escoles.

La notícia, en maig de 2011, de l'Agència Internacional per a la Recerca del Càncer (IARC), agència de l'Organització Mundial de la Salut (OMS), que ha classificat els Camps Electromagnètics de Radiofreqüència en el grup 2B, com a possible carcinogen per als humans, ha fet incrementar la preocupació dels familiars de l'alumnat.

La realització d'aquest Treball de Fi de Carrera (TFC) es justifica per una banda en la necessitat de prendre mesures de nivells d'exposició en les aules, per intentar tranquil·litzar els familiars dels alumnes, d'altra banda en el fet que els nivells d'intensitat de camp elèctric amidats poden tenir molta dispersió, a causa del procediment de mesura utilitzat, de la pròpia tecnologia sense fils i de l'equipament utilitzat per realitzar els amidaments.

Els objectius d'aquest treball són els següents:

- Dissenyar un procediment de mesura que pugui servir com a instrucció tècnica per facilitar la presa d'aquestes en ambients docents, intentant reduir al màxim la dispersió en les mesures. Al mateix temps que fer una guia didàctica per a persones sense coneixements tècnics.
- Dissenyar aquest procediment de mesura d'acord amb la normativa vigent.

El procediment de mesura dissenyat és una modificació de l'Annex IV de l'Ordre CTE/23/2002 [7], adaptada a la tecnologia Wi-Fi i als ambients docents.

S'ha dividit aquest treball en 5 capítols més 3 annexos:

- En el capítol 1 es fa una introducció a la tecnologia Wi-Fi i a la teoria de radiocomunicació, l'objectiu d'aquest capítol és conèixer els senyals que s'han de mesurar.
- En el capítol 2 es fa un repàs a la normativa i recomanacions actuals respecte de les radiacions electromagnètiques no ionitzants relacionades amb la salut, tant a nivell internacional com a nivell estatal, amb una especial atenció a la recomanació de l'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) [8], que és la base de la Recomanació Europea i la legislació estatal. L'objectiu d'aquest capítol és conèixer la normativa a aplicar i els estudis realitzats internacionalment sobre els camps electromagnètics de les tecnologies sense fils relacionats amb la salut.

- En el capítol 3 es desenvolupa el procediment de mesura, atenent a les condicions de la tecnologia Wi-Fi i al medi dels espais docents on s'instal·la aquesta tecnologia.
- En el capítol 4 es treuen les conclusions del procediment de mesures, segons l'anàlisi de les dades obtingudes en la presa de mesures descrita a l'annex 3 d'aquest treball.
- En el capítol 5 es llisten les referències consultades per desenvolupar aquest TFC.
- A l'annex 1 es llisten els termes clau d'aquest treball amb la definició correcta de cadascun d'ells.
- A l'annex 2 es llisten els acrònims i símbols utilitzats en aquest treball.
- L'annex 3 és un informe tècnic de mesures reals efectuades en una escola, segons el procediment desenvolupat al capítol 3.

Les conclusions més destacables que es poden extreure són les següents:

1. Els nivells d'exposició provocats pels sistemes de telecomunicació amb tecnologia Wi-Fi, compleixen els valors de referència de la legislació actual.
2. Els nivells més alts d'exposició a les aules, són provocats pels ordinadors portàtils dels alumnes.
3. Es considera vàlid el procediment desenvolupat per prendre mesures de nivells d'exposició en ambients docents, atès que la dispersió màxima amidada, amb valors vàlids, en un període amitjanat de 6 minuts, és de 8,3 dB.
4. La ubicació de l'equip de mesura dins la classe, té una importància relativa, generalment els valors amidats prop de les parets és de l'ordre d'unes centenes de mV/m superiors als valors amidats als passadissos.
5. Si es volen utilitzar mesuradors en banda ampla, el seu rang inferior de mesura hauria de ser $\leq 0,2$ V/m.

CAPÍTOL 1 FONAMENTS TÈCNICS

1.1 L'estàndard 802.11

La paraula Wi-Fi és una abreviatura de Wireless Fidelity que s'utilitza per anomenar genèricament la tecnologia sense fils basada en l'estàndard 802.11 de la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) [9]. Aquest estàndard té diferents variants, les més comercials s'especifiquen amb els seus paràmetres a la Taula 1.1. S'ha de fer menció que la variant més estesa actualment d'aquest estàndard a l'Estat Espanyol és la 802.11g.

El funcionament de l'estàndard 802.11 es basa en els protocols TCP (Transfer Control Protocol) i IP (Internet Protocol). Aquest model estructura el problema de la comunicació entre dos equips en cinc capes relativament independents entre sí (Fig. 1.1).

Capa d'aplicació
Capa de transport
Capa d'Internet (IP)
Capa d'accés a la xarxa (MAC)
Capa física

Fig. 1.1 *Arquitectura del protocol TCP-IP*

- Capa física

Defineix la interfície física entre el dispositiu transmissor de dades i el mitjà físic de transmissió. Aquesta capa s'encarrega de les especificacions de les característiques del medi de transmissió, de la forma dels senyals, de la velocitat de les dades i de temes semblants.

- Capa d'accés a la xarxa (MAC)

La capa MAC (Medium Access Control), és la responsable del bescanvi de dades entre el sistema final i la xarxa a la que està connectada.

- Capa d'Internet (IP)

Per a dos sistemes finals connectats a xarxes diferents s'utilitza el protocol IP, l'objectiu d'aquesta capa és oferir el servei d'encaminament a través de diferents xarxes. Als sistemes connectats a xarxes IP se'ls ha de configurar una adreça IP per fer aquest encaminament. Usualment en xarxes sense fils s'utilitza el protocol DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Aquest protocol assigna automàticament les adreces IP al sistemes usuaris de la xarxa.

- Capa de transport

Proporciona el control de la transmissió amb l'objectiu de realitzar un bescanvi de dades de forma fiable amb el protocol TCP. Per altra banda, si el que interessa és velocitat de transmissió sense importar-ne la fiabilitat, s'utilitza el protocol UDP (User Datagram Protocol).

- Capa d'aplicació

La capa d'aplicació conté tota la lògica necessària per possibilitar les diferents aplicacions d'usuari.

1.1.1 La capa física

A l'estàndard 802.11 es defineixen tres modes de transmissió via ràdio que són els següents:

- DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

La transmissió en DSSS s'obté multiplicant les dades a transmetre per a una seqüència pseudo-aleatòria. Aquesta seqüència és una sèrie de valors "+1" i "-1" (anomenada codi de Barker) d'una freqüència molt superior a l'original, amb aquesta tècnica s'eixampla l'espectre del senyal.

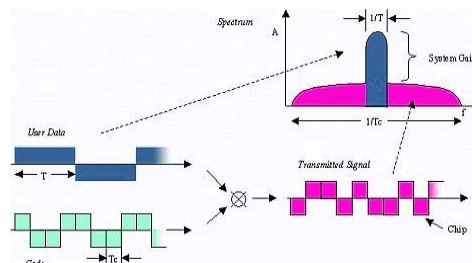


Fig. 1.2 Procés d'eixamplada de l'espectre [10]

- FHSS (Frequency Hopped Spread Spectrum)

La transmissió en FHSS es realitza enviant una part de la informació a una freqüència determinada en un interval de temps, inferior a 400 ms.

A l'interval següent, la informació es transmet a una freqüència diferent i d'aquesta manera, a cada interval, es transmet la seva part d'informació a diferents freqüències. La seqüència dels salts en freqüència ve determinada per una seqüència pseudo-aleatòria emmagatzemada en unes taules que l'emissor i el receptor han de conèixer.

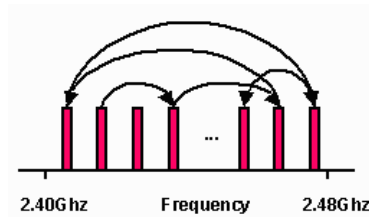


Fig. 1.3 Procés de transmissió FHSS [11]

- OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing)

La transmissió en OFDM és una tècnica de modulació que consisteix en partir la informació que es desitja enviar, de forma que cada part sigui modulada en diferents portadores multiplexades que s'envien al mateix temps.

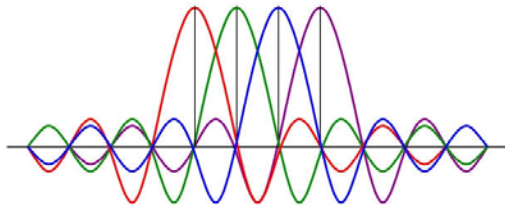


Fig. 1.4 Transmissió en OFDM [12]

1.1.2 La cel·la i la capa MAC

Les xarxes Wi-Fi estan distribuïdes en cel·les. Una cel·la es pot definir com una zona on diferents dispositius es connecten entre ells, o a una xarxa, a través de l'aire.

Existeixen diferents tipus de configuració de cel·les:

- IBSS (Independent Basic Service Set)

És una cel·la que no té connexió amb d'altres xarxes.

- Ad-hoc

És una variant del tipus IBSS que no disposa de punt d'accés. Les funcions d'aquest punt d'accés les fa de forma aleatòria qualsevol de les estacions.

- Infraestructura

Tota la informació passa pel punt d'accés. Aquesta configuració és la més utilitzada a les llars.

- ESS (Extended Service Set)

És una variant del tipus infraestructura que permet associar diferents cel·les, de forma que una estació en moviment disposi sempre de connexió. Aquesta configuració és la més utilitzada en espais docents.

1.1.2.1 La capa MAC

La capa MAC treballa amb la capa física mesurant el nivell de radiofreqüència que arriba a l'antena. La capa física utilitza l'algoritme CCA (Clear Channel Assessment) que realitza una estimació de si el canal està ocupat o no.

El mecanisme d'accés al medi més utilitzat es el CSMA/CA (Carrier-Sense, Multiple Access, Collision Avoidance). Aquest protocol evita col·lisions en comptes de descobrir-ne, a l'igual que l'algoritme utilitzat per Ethernet.

Amb CSMA/CA si una estació identifica el final d'una transmissió, espera un temps aleatori abans de transmetre. D'aquesta manera, es disminueix la possibilitat de col·lisions.

Si el nivell del senyal rebut és menor a un nivell determinat, es considera que el canal està buit i s'informa a la capa MAC de l'estat del canal per començar la transmissió. Si per contra, el nivell del senyal rebut és superior al nivell anterior, la transmissió es retarda un temps aleatori d'acord amb el protocol.

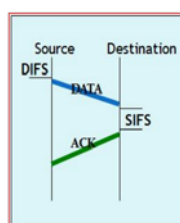


Fig. 1.5 Estàndard CSMA/CA [13]

Una vegada l'estació està preparada per transmetre, envia una sol·licitud RTS (Request To Send) al punt d'accés, que està formada per l'adreça IP de destí més la longitud d'informació que es desitja enviar. El punt d'accés envia un missatge anomenat NAV (Network Allocation Vector) a la resta d'estacions per informar que hi haurà una transmissió, en el NAV s'inclou el temps de transmissió. La resta d'estacions no transmetran durant aquest temps més un interval extra aleatori per a cada estació. Si tot és correcte, s'envia un missatge d'autorització CTS (Clear To Send) a l'estació que vol transmetre. En el cas que l'estació no rebí aquest missatge, se suposa que ha hagut una col·lisió i el procés torna a començar des del principi.

Quan el punt d'accés ha rebut les dades, envia un senyal ACK (Acknowledge) a l'estació transmissora per informar que aquestes dades han estat rebudes correctament.

1.1.3 Variants de l'estàndard 802.11 i els seus paràmetres

Les variants més comercials de l'estàndard 802.11 i els seus paràmetres es poden resumir en la següent taula:

Estàndard	Banda de Freqüències	Velocitat màxima	Velocitat mitjana de transferència de dades	Interfície
802.11a	5 GHz	54 Mbps	20 Mbps	OFDM
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	5,5 Mbps	DSSS/FHSS
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps	22 Mbps	DSSS/FHSS
802.11n	2,4 i 5 GHz	600Mbps		OFDM- MIMO

Taula 1.1 Variants més comercials de l'estàndard 802.11

1.1.4 Ús de l'espectre

A Europa, les canalitzacions per a les dues diferents bandes de freqüències que es poden utilitzar per a l'estàndard 802.11 estan harmonitzades i estandarditzades per l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute), concretament l'ETSI EN 300 328 per a la banda de 2,4 GHz [14] i l'ETSI EN 301 893 per a la banda de 5 GHz [15].

A l'Estat Espanyol, les freqüències de transmissió estan definides pel CNAF (Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias) [16]. Per a la tecnologia Wi-Fi, estan en les bandes que van entre 2400 a 2483,5 MHz i entre 5150 a 5350 MHz. Aquestes freqüències pertanyen a bandes anomenades d'ús comú i poden ser utilitzades, a més, en aplicacions ICM (Industrials, Científiques o Mediques). L'ús comú no garanteix la protecció contra interferències.

Per a la banda de freqüències compreses entre 2400 i 2483,5 MHz, el CNAF, en la seva nota d'utilització nacional UN 85, especifica que aquests dispositius poden funcionar amb una PIRE (Potència Isòtropa Radiada Equivalent) màxima de 100 mW.

Les canalitzacions en aquesta banda, poden ser de dos tipus.

- Pel mode DSSS

A Europa s'utilitzen 13 canals en la banda dels 2400 MHz, amb un ample de banda de 22 MHz i una separació entre canals de 5 MHz. Això provoca un solapament entre canals adjacents, dues estacions transmissores properes han d'utilitzar canals que no s'interfereixin mútuament.

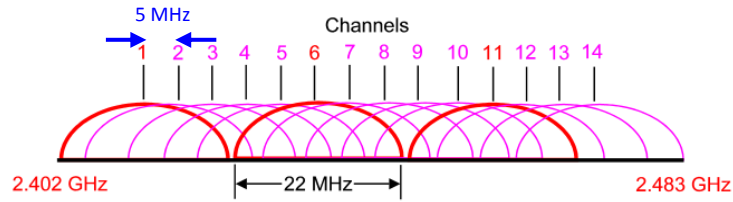


Fig. 1.6 Canalitzacions en DSSS [17]

Canal	Portadora [MHz]
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2472
13	2477

Taula 1.2 Canalitzacions en DSSS

- Pels modes OFDM o FHSS

A Europa s'utilitzen 79 canals amb un ample de banda d'1MHz per canal. L'estàndard defineix el tipus de modulació FSK (Frequency Shift Keying).

Canal	Portadora [MHz]	Canal	Portadora [MHz]	Canal	Portadora [MHz]
2	2402	28	2428	54	2454
3	2403	29	2429	55	2455
4	2404	30	2430	56	2456
5	2405	31	2431	57	2457
6	2406	32	2432	58	2458
7	2407	33	2433	59	2459
8	2408	34	2434	60	2460
9	2409	35	2435	61	2461
10	2410	36	2436	62	2462
11	2411	37	2437	63	2463
12	2412	38	2438	64	2464
13	2413	39	2439	65	2465
14	2414	40	2440	66	2466
15	2415	41	2441	67	2467
16	2416	42	2442	68	2468
17	2417	43	2443	69	2469
18	2418	44	2444	70	2470
19	2419	45	2445	71	2471
20	2420	46	2446	72	2472
21	2421	47	2447	73	2473
22	2422	48	2448	74	2474
23	2423	49	2449	75	2475
24	2424	50	2450	76	2476
25	2425	51	2451	77	2477
26	2426	52	2452	78	2478
27	2427	53	2453	79	2479
				80	2480

Taula 1.3 Canalitzacions en OFDM o FHSS

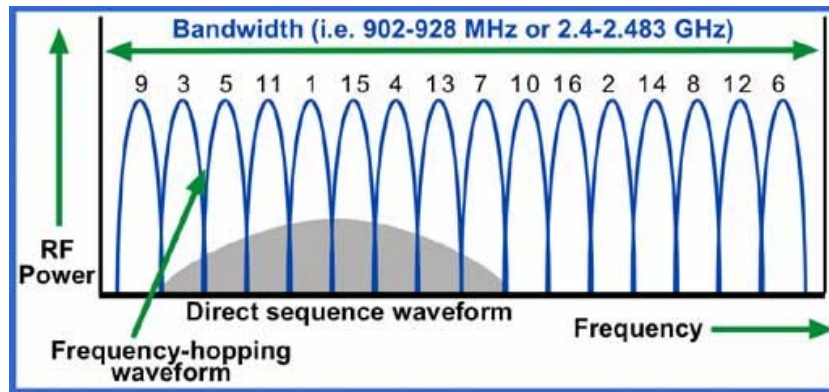


Fig. 1.7 Canalitzacions en OFDM o FHSS [18]

Pel que fa a la banda de freqüències compreses entre 5150 i 5350 MHz, el CNAF, en la seva nota d'utilització nacional UN 128, restringeix la seva utilització només a l'interior de recintes. La PIRE màxima ha de ser de 200 mW i a més la subbanda compresa entre 5250 i 5350 MHz haurà d'utilitzar tècniques de control de potència que permetin una reducció de 3 dB, en cas contrari la PIRE màxima queda limitada a una PIRE de 100 mW.

- Pels modes OFDM o FHSS

Aquesta banda s'anomena també U-NII (Fig. 1.8). En la subbanda que va entre 5150 a 5250 MHz s'utilitzen 4 canals i a la subbanda compresa entre 5250 i 5350 MHz s'utilitzen 3 canals.

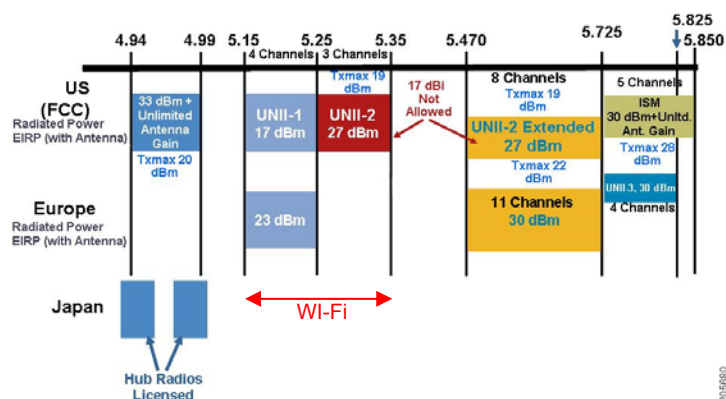


Fig. 1.8 Canalitzacions en la banda de 5 GHz. [19]

1.2 Radiocomunicació

L'estàndard 802.11 és, per definició, un sistema sense fils. Això vol dir que utilitza l'aire com a medi de transmissió. Per aconseguir aquesta fita, s'utilitzen antenes. A més, la comunicació és bidireccional entre el punt d'accés i una o diverses estacions.

1.2.1 Antenes

Una antena és un dispositiu conductor de l'electricitat, dissenyat per transmetre o rebre ones electromagnètiques. Més formalment, es pot definir com una estructura associada amb la regió de transició entre una ona guiada i l'espai lliure.

Les característiques de les antenes, entre d'altres la impedància i la radiació, són funcions de la freqüència a la que treballen. L'anàlisi d'aquestes característiques es fa amb les equacions de Maxwell en el domini de la freqüència.

Quan es parla d'una antena, normalment és sobre les seves característiques transmissores, però pel teorema de reciprocitat se sap que les característiques d'una antena treballant en recepció són iguals a les que tindria treballant en transmissió.

Una de les explicacions més senzilles de com una antena radia camps electromagnètics, l'ha fet C. A. Balanis [20], que considera una font de tensió connectada als dos conductors d'una línia de transmissió i a l'altre extrem de la línia hi ha connectada una antena.

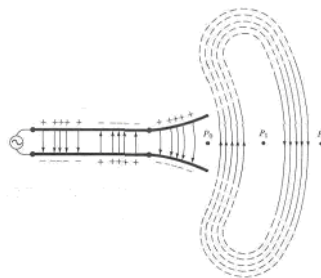


Fig. 1.9 Font, línia de transmissió, antena i generació de línies de camp elèctric [20]

Si s'aplica una diferència de potencial entre els dos conductors de la línia de transmissió, es crea un camp elèctric entre ells. Aquest camp elèctric té associades línies de força elèctriques tangents al camp elèctric en cada punt de la línia. Al mateix temps, la intensitat de la força d'aquestes línies és proporcional a la intensitat del camp elèctric. Les línies de força elèctrica tenen la tendència a actuar sobre els electrons lliures associats a cada conductor i els força a desplaçar-se. El moviment d'aquestes càrregues crea, a la seva vegada, un camp magnètic, el qual porta associades línies tangents de força magnètiques.

Atès que la font crea una tensió variable en el temps, els camps elèctrics i magnètics també seran variables i crearan ones que viatjaran al llarg de la línia de transmissió. D'aquesta manera, es formaran ones a l'espai lliure a l'extrem de l'antena i es connectaran els extrems oberts de les línies de camp.

1.2.1.1 Diagrama de radiació

El diagrama de radiació d'una antena és la representació gràfica de la intensitat de radiació en funció de diferents direccions en el volum d'una esfera de radi fix centrada en l'antena.

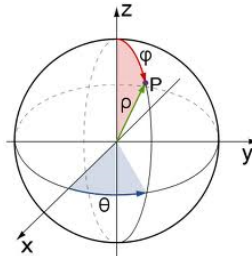


Fig. 1.10 Coordenades esfèriques [21]

En coordenades esfèriques qualsevol punt P (Fig. 1.10) s'especifica amb el radi ρ . L'angle φ s'amida des de l'eix z al punt P. L'angle θ s'amida entre l'eix x i la projecció del punt P sobre el pla xy.

Habitualment, es representen dos diagrames de radiació en coordenades polars, un que representa la radiació d'una antena en el pla xy, anomenat diagrama horitzontal o pla H, i un altre, que representa la radiació en el pla xz anomenat diagrama vertical o pla E.

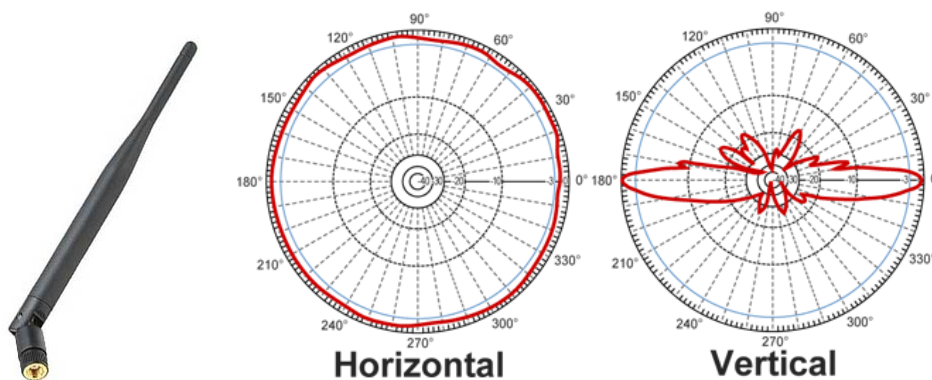


Fig. 1.11 Diagrames de radiació d'una antena omnidireccional [22] i [23]

El diagrama de radiació d'una antena depèn de les seves propietats físiques com són: la forma de l'antena, les mides físiques i la freqüència per a la que ha estat dissenyada.

Per a sistemes Wi-Fi en interiors, s'utilitzen bàsicament antenes omnidireccionals i antenes direccionals de plafó.

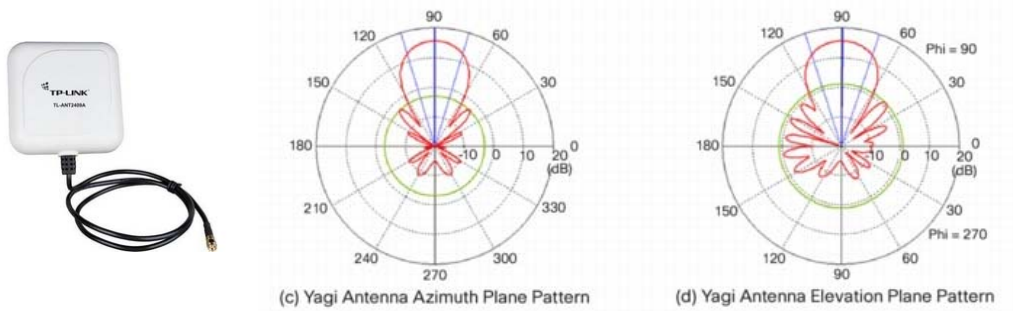


Fig. 1.12 Diagrames de radiació d'una antena direccional [24] i [25]

1.2.1.2 Factor d'antena

Un dels paràmetres que s'utilitza per prendre mesures amb antenes és el factor d'antena (FA). És un dels paràmetres més utilitzats en compatibilitat electromagnètica (EMC).

$$FA_{electric} = \frac{E_{incident}}{V_{rebuda|Z_0|}} \tag{1.1}$$

El FA elèctric, és la relació entre el camp incident en l'antena i la tensió mesurada sobre una impedància determinada (1.1). El FA és la funció de transferència de l'antena.

1.2.2 Propagació

La velocitat de propagació de les ones electromagnètiques en el buit és una funció de les constants de permeabilitat i de permitivitat caracteritzada en l'equació (1.2). En l'atmosfera de la Terra el valor d'aquestes constants és molt similar al buit. Per aquesta raó, es prenen aquests valors per calcular la velocitat de propagació de les ones electromagnètiques.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \tag{1.2}$$

On:

$c =$	velocitat de la llum	$299.792.458 [m \cdot s^{-1}]$
$\epsilon_0 =$	permitivitat elèctrica del buit	$8,8541878176 \cdot 10^{-12} [F \cdot m^{-1}]$
$\mu_0 =$	permeabilitat magnètica del buit	$4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} [N \cdot A^{-2}]$

Una ona emesa per una antena s'origina com a ona esfèrica. A suficient distància, la curvatura de l'ona es menyspreable i es pot considerar com una ona localment plana.

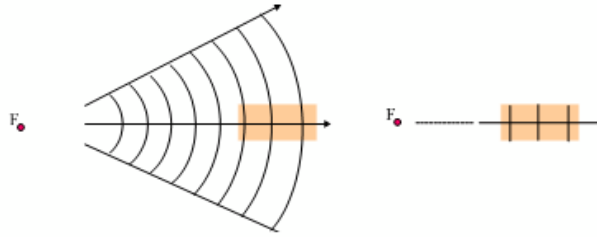


Fig. 1.13 Ona localment plana [26]

Per a una ona localment plana les línies de camps magnètic i elèctric a l'espai són ortogonals entre si i amb la direcció de propagació.

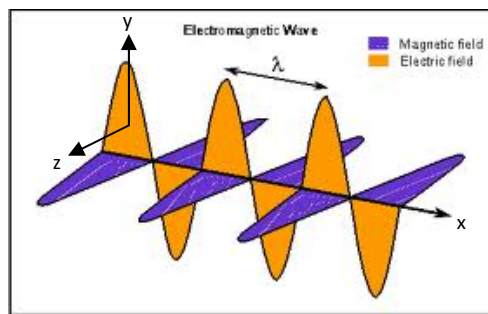


Fig. 1.14 Camps \vec{E} i \vec{H} en les ones localment planes [27]

La raó entre \vec{E} i \vec{H} és la impedància d'ona, que en el cas de propagació a l'espai lliure, ve donada per l'equació (1.3).

$$Z_0 = \frac{\vec{E}_y}{\vec{H}_z} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \Omega \quad (1.3)$$

On:

$Z_0 =$ impedància d'ona en propagació a l'espai lliure

$\vec{E}_y =$ intensitat de camp elèctric

$\vec{H}_z =$ intensitat de camp magnètic

El producte de $\vec{E}_y \times \vec{H}_z$, en un punt determinat, té dimensions de potència per unitat d'àrea (densitat de potència) i s'anomena vector de Poynting.

El camp de radiació d'una antena té diferents propietats en funció de la distància a l'antena (R) amb dependències de la forma $1/R^2$ i $1/R$. Si D és la longitud màxima de l'antena i λ és la longitud d'ona, aquestes propietats són:

- Camp proper reactiu

Són els camps que s'obtenen a distàncies $R < 0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$. En aquest cas, els camps són quasi estacionaris i es considera que el camp elèctric està en quadratura de fase amb el camp magnètic. Per tant, en aquesta regió, no existeix un flux net de potència radiada. El que hi ha és potència reactiva.

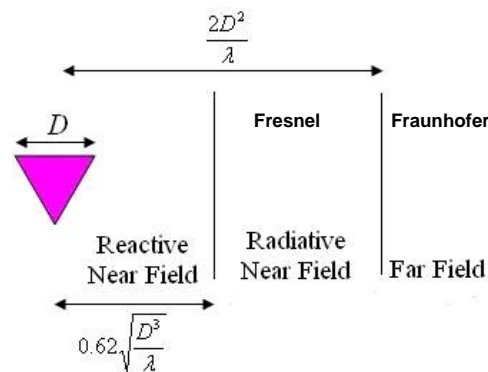


Fig. 1.15 Regions al voltant d'una antena [28]

- Camp proper radiatiu

Són els camps que s'obtenen a distàncies $0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} < R < \frac{2D^2}{\lambda}$. És la regió on els camps radiats prevalen sobre els camps reactius i la distribució angular del camp depèn de la distància a l'antena amb diferències de fase menors que $\pi/8$. Aquesta regió del camp també s'anomena regió de Fresnel.

- Camp llunyà

Són els camps que s'obtenen a distàncies $R > \frac{2D^2}{\lambda}$. És la regió on la distribució angular del camp és independent de la distància a l'antena. Aquesta regió també s'anomena regió de Fraunhofer.

Una antena isòtropa es defineix com una antena hipotètica ideal, que radia amb la mateixa intensitat en totes les direccions. Encara que no és físicament realitzable, es pren com antena de referència per expressar les propietats directives de les antenes que s'utilitzen. Així s'introdueix el concepte de PIRE, que és la potència equivalent que radiaria una antena isòtropa.

D'aquesta manera, quan una antena radia més potència que una antena isòtropa en una direcció determinada, es diu que té un guany isòtrop. Aquest guany usualment es mesura en decibels (dB), anomenats dBi.

En un punt de l'espai la densitat de flux de potència rebuda es pot calcular com:

$$S(R, \Theta, \Phi) = (1 + \rho)^2 \frac{PIRE}{4\pi R^2} F(\Theta, \Phi) \quad (1.4)$$

On:

R Distància.

$S(R, \Theta, \Phi)$ Densitat de potència a una distància i una direcció determinada.

ρ Coeficient de reflexió.

$F(\Theta, \Phi)$ Funció del producte de la multiplicació del valor del diagrama de radiació horitzontal pel valor del digrama de radiació vertical a una direcció determinada.

Però aquesta densitat de flux també és igual a:

$$S(R, \Theta, \Phi) = \frac{\left(\vec{E}(R, \Theta, \Phi)\right)^2}{120\pi} \quad (1.5)$$

On:

$\vec{E}(R, \Theta, \Phi)$ Intensitat de camp elèctric a una distància i una direcció determinada.

Igualant les dues equacions anteriors queda:

$$\vec{E}(R, \Theta, \Phi) = \frac{(1 + \rho)(30 (PIRE F(\Theta, \Phi)))^{\frac{1}{2}}}{R} \quad (1.6)$$

A l'espai lliure (sense reflexions), el valor de ρ és zero, però a prop del terra el valor estimat, de forma empírica, és 0,6. Si es vol ser molt conservador, tenint en compte reflexions del terra, parets i sostre en una aula docent, es podria utilitzar el valor 1.

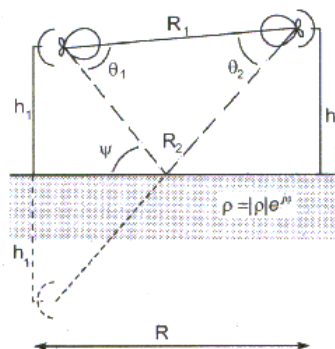


Fig. 1.16 Reflexió produïda pel terra [29]

1.2.3 Models de propagació

A l'estudi de la propagació existeixen principalment tres models de comportament del senyal transmès.

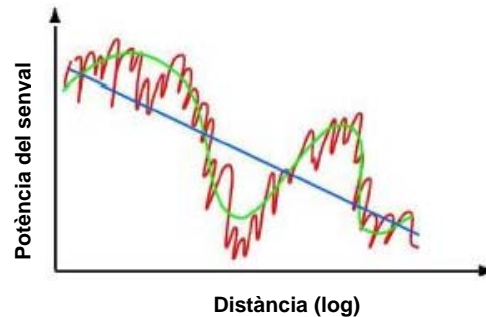


Fig. 1.17 Models de propagació [30]

Gran escala (Atenuació a l'espai lliure)

Escala mitjana (Esvaïments lents per obstacles al voltant del Receptor)

Petita escala (Esvaïments ràpids per propagació multicamí)

- Models a gran escala

Els models a gran escala prediuen el nivell mitjanat a una distància determinada des del transmissor i per tant, prediuen l'àrea de cobertura d'un transmissor.

- Models d'escala mitjana

Els models a escala mitjana prediuen el nivell del senyal en un medi amb molts objectes pròxims al receptor dispersant el senyal (model de Rayleigh). Aquests objectes són els responsables dels esvaïments lents.

- Models a petita escala

Els models a escala petita estimen el comportament del senyal en variacions de distàncies pròximes a la longitud d'ona. S'originen com a conseqüència de l'efecte multicamí que és el responsable dels esvaïments ràpids.

1.2.4 Polarització

Anteriorment, s'ha comentat que quan una ona es propaga, els camps elèctric i magnètic oscil·len perpendicularment a la direcció de propagació. Si el vector de camp elèctric oscil·la sempre en la mateixa direcció es diu que l'ona està linealment polaritzada. Si es vol rebre aquesta ona amb una antena, l'orientació haurà de estar en paral·lel amb el camp elèctric, de forma que els electrons de l'antena receptora segueixin la força produïda pel camp elèctric.

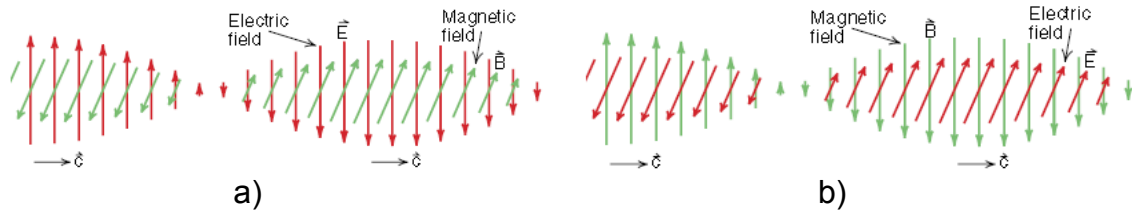


Fig. 1.18 a) Ona polaritzada linealment en vertical [31] b) Ona polaritzada linealment en horitzontal [31]

D'aquesta manera, la polarització d'una ona a l'espai lliure es funció de la forma com es produeixen els camps elèctric i magnètic en l'antena transmissora.

A més de la polarització lineal, es poden donar les polaritzacions circular i el·líptica.

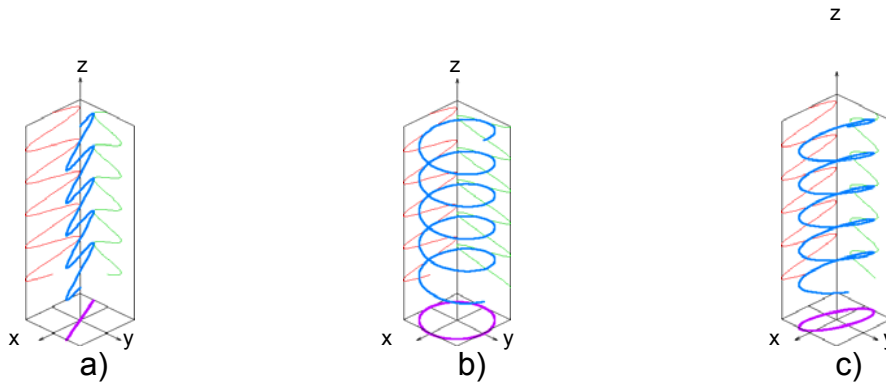


Fig. 1.19 a) Polarització lineal b) Polarització circular c) Polarització el·líptica [32]

En un instant determinat, el valor de la intensitat de camp elèctric total serà l'arrel quadrada de la suma del quadrat del valor de camp elèctric a la direcció x amb el quadrat del valor de camp elèctric a la direcció y.

$$\vec{E}_{total} = \sqrt{\vec{E}_x^2 + \vec{E}_y^2} \quad (1.7)$$

1.3 Sistemes MIMO

Els avantatges dels sistemes convencionals SISO (Single Input Single Output) són la seva simplicitat i un baix cost. Per contra, tenen les següents limitacions: no es pot garantir la comunicació en condicions d'esvaïments elevats i es malbarata energia al radiar vers totes les direccions, produint una interferència major per a d'altres usuaris i una sensibilitat superior a interferències procedents de múltiples direccions.

L'estàndard 802.11/n, utilitza tecnologia MIMO (Multiple Input, Multiple Output). Això vol dir, que utilitza múltiples antenes amb els seus respectius transmissors i receptors per suportar més d'una transmissió de dades al mateix temps. La tecnologia MIMO pot utilitzar qualsevol de les dues bandes de l'estàndard.

Els sistemes MIMO poden utilitzar tres tècniques diferents incompatibles entre si:

- Diversitat d'espai

Es transmet la mateixa informació per camins diferents. D'aquesta manera, la probabilitat que trajectes múltiples experimentin esvaïments profunds simultàniament és inferior.

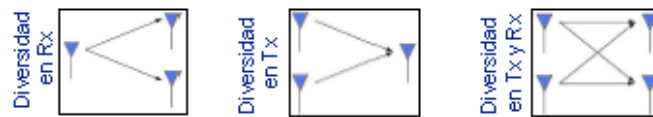


Fig. 1.20 Diversitat d'espai [30]

- Multiplexació d'espai

És una tècnica de processament del senyal en transmissió (Tx) i en recepció (Rx) per generar corrents de dades paral·leles que viatgen per camins ortogonals a l'espai. Possibilita l'increment de la capacitat del sistema i no és adequat en ambients amb alta correlació entre antenes.

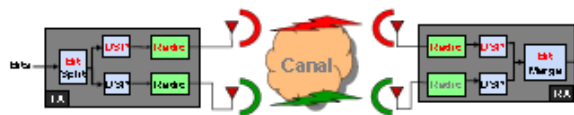


Fig. 1.21 Multiplexació d'espai [30]

- Beamforming

És una tècnica que controla la direcció de màxima radiació de les antenes en Tx i/o Rx. Possibilita l'increment de la sensibilitat en la direcció desitjada del senyal i minimitza la interferència no desitjada.

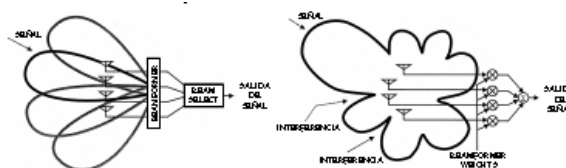


Fig. 1.22 Beamforming [30]

CAPÍTOL 2 CAMPS ELECTROMAGNÈTICS I SALUT

El 1993, al programa de televisió de la CNN Larry King Live, s'entrevista a un home de negocis de Florida anomenat David Reynard [33]. Aquest havia demandat a una empresa fabricant de telèfons mòbils, pensant que la mort de la seva dona, a causa d'un tumor cerebral, era conseqüència de les emissions electromagnètiques del telèfon mòbil i que l'empresa coneixia els efectes potencialment perjudicials per a la salut de les persones. El cas va ser arxivat per la justícia, però la polèmica generada va arribar al Congrés Nord-americà.

A partir d'aquest fet, va esdevenir popularment la controvèrsia de si els camps electromagnètics afecten negativament la salut i la comunitat científica internacional va començar a disposar de més fons econòmics per investigar els efectes d'aquests camps sobre la salut.

2.1 Recomanacions i legislacions internacionals

Existeixen diferents estàndards i recomanacions pel que fa a l'exposició de camps electromagnètics per protegir la salut. Cada país pot seleccionar un d'aquests estàndards o recomanacions existents per crear la seva pròpia legislació. Fins i tot, pot crear un estàndard nou.

La gran majoria dels països amb legislació sobre exposició a camps electromagnètics, està basada en les recomanacions establertes per l'ICNIRP, aquestes recomanacions estan avalades per la OMS. L'ICNIRP avalua els resultats científics de les investigacions efectuades a tot el món i crea recomanacions sobre els límits d'exposició, que són revisats i actualitzats, en cas necessari, com per exemple es va fer amb l'estàndard de l'IEEE C95.1 [34], que va ser revisat en 2006.

Normalment, aquestes legislacions i recomanacions internacionals estableixen valors límits a la densitat de potència que pot incidir sobre el cos d'una persona.

La recomanació del Consell Europeu 1999/519/CE [35], es basa en la recomanació de l'ICNIRP.

Alguns països europeus, com Dinamarca, no tenen legislació sobre camps electromagnètics. D'altres països, com Itàlia o Suïssa, han reduït els nivells d'exposició recomanats per l'ICNIRP.

2.1.1 ICNIRP

Aquesta recomanació proposa dos nivells de restriccions en funció de si l'exposició als camps elèctric, magnètic, o electromagnètic és ocupacional (treballadors que han estat formats en aquest tipus de risc laboral) o, en cas contrari, pel públic en general. Aquests nivells de restriccions són:

- Restriccions bàsiques

Restriccions per a l'exposició a camps elèctrics, magnètics i electromagnètics variables en el temps que estan basats directament en els efectes sobre la salut. En funció de la freqüència del camp, les quantitats físiques utilitzades són la densitat de corrent (J), la taxa d'absorció específica d'energia (**SAR**) i la densitat de potència (**S**). Només la densitat de potència en l'aire, fora del cos, pot ser ràpidament mesurada en persones exposades a aquests camps.

- Nivells de referència

Es proporcionen aquests nivells per avaluar de forma pràctica les exposicions, a l'objecte de determinar si és probable que les restriccions bàsiques puguin ser excedides. Alguns nivells de referència són derivats d'aquestes restriccions utilitzant tècniques de mesurament i/o computacionals, d'altres estan basats en percepcions i efectes indirectes adversos per l'exposició als camps electromagnètics. Les quantitats derivades són la intensitat de camp elèctric (E), la intensitat de camp magnètic (H), la densitat de flux magnètic (B), la densitat de potència (S) i els corrents que flueixen a través de les extremitats (IL).

Les quantitats que estan dirigides a la percepció d'altres efectes indirectes són els corrents de contacte (IC) i l'absorció d'energia específica (**SA**) per a camps polsats. En qualsevol situació d'exposició particular, els valors mesurats o calculats d'alguna d'aquestes quantitats poden ser comparats amb el nivell de referència apropiat. Respectar aquests nivells de referència assegurarà que es respecten les restriccions bàsiques rellevants. Si els valors mesurats o calculats sobrepassen els nivells de referència, això no indica necessàriament que s'excedeixen les restriccions bàsiques. Sempre que un nivell de referència es sobrepassi, és necessari avaluar l'acompliment de la restricció bàsica i determinar si són necessàries mesures de protecció addicionals.



Fig. 2.1 *NORMAN, home de referència estandarditzat, 176 cm d'altura i 73 kg de pes [36]*

Hi ha tres tipus bàsics de mecanismes d'acoblament establerts on la matèria viva interactua amb els camps elèctrics i magnètics variables en el temps.

- Acoblament a camps elèctrics de baixa freqüència.
- Acoblament a camps magnètics de baixa freqüència.
- Absorció d'energia dels camps electromagnètics.

La quantitat d'energia absorbida depèn d'un nombre de factors, que inclou les dimensions (talla) del cos exposat.

L'home de referència estandarditzat (Fig. 2.1) de la International Commission on Radiological Protection (ICRP 1994) [37], té una freqüència de ressonància d'absorció prop dels 70 MHz si no té connexió al terra elèctric. Per a individus més alts, la freqüència de ressonància d'absorció és inferior. Per a adults més baixos, nens, nadons i individus asseguts, la freqüència de ressonància d'absorció pot excedir els 100 MHz. Els valors dels nivells de referència del camp elèctric estan basats en la dependència respecte de la freqüència de l'absorció humana. En individus amb connexió al terra elèctric, les freqüències ressonants d'absorció són més baixes en un factor de 2.

L'exposició als camps elèctrics i magnètics de baixa freqüència, normalment, produeix una absorció d'energia insignificant i un increment no mesurable de temperatura del cos. En canvi, l'exposició als camps electromagnètics a freqüències superiors als 100 kHz, pot produir una absorció d'energia i un increment de temperatura significatius. En general, l'exposició a camps electromagnètics uniformes (ona plana) ocasiona una absorció de l'energia distribuïda de manera no uniforme dins del cos. Si aquesta energia és prou elevada, provoca que els mecanismes d'autoregulació de la temperatura del cos no siguin suficients per mantenir la temperatura dintre dels valors considerats normals.

Experimentalment, s'ha demostrat que una exposició de fins a 30 minuts, sota unes condicions on la SAR a tot el cos era menys de 4 W kg^{-1} , va provocar un augment de la temperatura del cos de menys d' 1°C . Per tant, es van introduir factors de seguretat per proporcionar nivells per donar una protecció adequada als individus exposats.

Per a camps d'alta freqüència es van tenir en compte les següents variables per determinar els factors de seguretat:

- Efectes deguts a l'exposició a camps electromagnètics sota condicions ambientals adverses (altes temperatures, etc.), i/o nivells alts d'activitat.
- La sensibilitat tèrmica potencialment més alta en determinats grups de població, com infants i nadons, persones fràgils i/o gent gran, i persones amb malalties o que estiguin prenent medicació que comprometi la seva tolerància tèrmica.

Adicionalment, es van tenir en compte els següents factors per obtenir els nivells de referència per a camps d'alta freqüència:

- L'absorció de l'energia electromagnètica varia segons el nivell i l'orientació del camp.
- Es pot produir una major absorció localitzada de l'energia, a causa de la reflexió, la concentració i la dispersió del camp incident.

Es proposa un factor de 10 com a factor de seguretat per a exposicions ocupacionals i un factor de 5 vegades més per al públic en general.

A les següents taules s'exposen les restriccions d'aquesta recomanació.

Restriccions bàsiques per a exposicions a camps elèctrics i magnètics per a freqüències de fins a 10 GHz					
Característiques de la exposició	Rang de Freqüències	Densitat de Corrent en cap y tronç (mA m ⁻²) (rms)	SAR amitjanada a tot el cos (W kg ⁻¹)	SAR localitzada en cap i tronç (W kg ⁻¹)	SAR localitzada en extremitats (W kg ⁻¹)
Exposició ocupacional	fins 1 Hz	40			
	de 1 Hz a 4 Hz	40/f			
	de 4 Hz a 1 kHz	10			
	de 1 kHz a 100 kHz	f/100			
	de 100 kHz a 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	de 10 MHz a 10 GHz		0,4	10	20
Exposició públic en general	fins 1 Hz	8			
	de 1 Hz a 4 Hz	8/f			
	de 4 Hz a 1 kHz	2			
	de 1 kHz a 100 kHz	f/500			
	de 100 kHz a 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	de 10 MHz a 10 GHz		0,08	2	4

Taula 2.1 Restriccions bàsiques per a exposicions a camps elèctrics i magnètics per a freqüències de fins a 10 GHz

Notes

- 1 f és la freqüència en Hz.
- 2 Com que el cos humà no és elèctricament homogeni, les densitats de corrent haurien de ser amitjanades sobre una secció transversal de 1 cm², perpendicular a la direcció del corrent.
- 3 Per a freqüències de fins a 100 kHz, els valors de densitat de corrent de pic es poden obtenir multiplicant el valor rms de la Taula 2.1 per 1,414. Per a polsos de durada tp, la freqüència equivalent a aplicar en les restriccions bàsiques s'hauria de calcular segons: $f = 1/(2tp)$.
- 4 Per a freqüències de fins a 100 kHz i per a camps magnètics polsats, la densitat de corrent màxima associada amb els polsos pot ser calculada a partir dels temps de pujada/baixada i la màxima taxa de canvi de la densitat de flux magnètic. La densitat de corrent induïda pot ser comparada després amb la restricció bàsica apropiada.
- 5 Tots els valors de la SAR, han de ser amitjanats sobre qualsevol període de 6 minuts.
- 6 La massa per amitjanar la SAR localitzada és qualsevol teixit contigu de 10 g de massa; la màxima SAR obtinguda d'aquesta manera hauria de ser el valor utilitzat per a l'estimació de l'exposició.
- 7 Per a polsos de durada tp, la freqüència equivalent a aplicar a les restriccions bàsiques hauria de ser calculada segons: $f = 1/(2tp)$. Addicionalment, en el rang de freqüències de 0,3 a 10 GHz i per a exposició localitzada al cap, amb l'objectiu d'evitar l'efecte auditiu causat per l'expansió termoelàstica, es recomana una restricció bàsica addicional. Aquesta restricció és que la SA amitjanada sobre 10 g de teixit no ha d'excedir de 10 mJ kg⁻¹ per a treballadors i 2 mJ kg⁻¹ per al públic en general.

Nivells de referència per a exposició ocupacional a camps elèctrics i magnètics (valors rms no pertorbats)				
Rang de Freqüències	Intensitat de Camp Elèctric (Vm ⁻¹)	Intensitat de Camp Magnètic (Am ⁻¹)	Densitat de Flux Magnètic (mT)	Densitat de Potència (Wm ⁻²)
fins 1 Hz		1,63 x 10 ⁵	2 x 10 ⁵	
de 1 Hz a 8 Hz	20000	1,63 x 10 ⁵ / f ²	2 x 10 ⁵ / f ²	
de 8 Hz a 25 Hz	20000	2 x 10 ⁴ / f	2,5 x 10 ⁴ / f	
de 0,025 kHz a 0,82 kHz	500 / f	20 / f	25 / f	
de 0,82 kHz a 65 kHz	610	24,4	30,7	
de 0,065 MHz a 1 MHz	610	1,6 / f	2 / f	
de 1 MHz a 10 MHz	610 / f	1,6 / f	2 / f	
de 10 MHz a 400 MHz	61	0,16	0,2	10
de 400 MHz a 2000 MHz	3 f ^{0,5}	0,008 x f ^{0,5}	0,01 x f ^{0,5}	f / 40
de 2 GHz a 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Taula 2.2 Nivells de referència per a exposició ocupacional a camps elèctrics i magnètics (valors rms no pertorbats)

Nivells de referència per a exposició poblacional a camps elèctrics i magnètics (valors rms no pertorbats)				
Rang de Freqüències	Intensitat de Camp Elèctric (Vm ⁻¹)	Intensitat de Camp Magnètic (Am ⁻¹)	Densitat de Flux Magnètic (mT)	Densitat de Potència (Wm ⁻²)
fins 1 Hz		3,2 x 10 ⁴	4 x 10 ⁴	
de 1 Hz a 8 Hz	10000	3,2x 10 ⁴ / f ²	4 x 10 ⁴ / f ²	
de 8 Hz a 25 Hz	10000	4000 / f	5000 / f	
de 0,025 kHz a 0,8 kHz	250 / f	4 / f	5 / f	
de 0,82 kHz a 3 kHz	250 / f	5	6,25	
de 3kHz a 150 kHz	87	5	6,25	
de 0,15 MHz a 1 MHz	87	0,73 / f	0,92 / f	
de 1 MHz a 10 MHz	87 / f ^{0,5}	0,73 / f	0,92 / f	
de 10 MHz a 400 MHz	28	0,073	0,92	2
de 400 MHz a 2000 MHz	1,375 f ^{0,5}	0,0037 x f ^{0,5}	0,0046 x f ^{0,5}	f / 200
de 2 GHz a 300 GHz	61	0,16	0,2	10

Taula 2.3 Nivells de referència per a exposició poblacional a camps elèctrics i magnètics (valors rms no pertorbats)

Notes per a les taules 2.2 i 2.3

- 1 f està en la freqüència que s'indica en la columna Rang de Freqüències.
- 2 Assumint que es compleixen les restriccions bàsiques i que es poden excloure els efectes indirectes adversos, els valors de les intensitats de camp poden ser superats.
- 3 Per a freqüències entre 100 kHz i 10 GHz, els valors de Seq, E2, H2, y B2, han de ser amitjanats sobre qualsevol període de 6 minuts.
- 4 Per a valors de pic en freqüències de fins 100 kHz veure Taula 2.1, nota 3.
- 5 Per a valors de pic en freqüències superiors a 100 kHz, veure la Figura 2.2 de la recomanació. Entre 100 kHz i 10 MHz els valors de pic de les intensitats de camp són obtingudes de l'interpolació des d'1,5 vegades el valor de pic en 100 kHz. fins a 32 vegades el valor de pic en 10 MHz. Per a freqüències superiors a 10 MHz es suggereix que el valor de pic de la densitat de potència d'ona plana equivalent, amitjanada sobre l'ample del pols, no excedeixi de 1.000 vegades les restriccions de Seq, o que l'intensitat de camp no excedeixi en 32 vegades els nivells d'exposició en intensitat de camp donats en aquestes taules.
- 6 Per a freqüències superiors a 10 GHz, Seq, E2, H2, y B2, han de ser amitjanades sobre qualsevol període de 68/ f^{1,05} minuts (f en GHz).
- 7 No es donen valors de camp elèctric per a freqüències inferiors a 1 Hz, atès que són camps elèctrics estàtics. Per a un gran nombre de persones la molesta percepció de càrregues elèctriques a la seva superfície no serà perceptible per a intensitats de camp menors a 25 kV m⁻¹. Les descàrregues del tipus espurnes causants d'estrès i molèstia haurien de ser evitades.

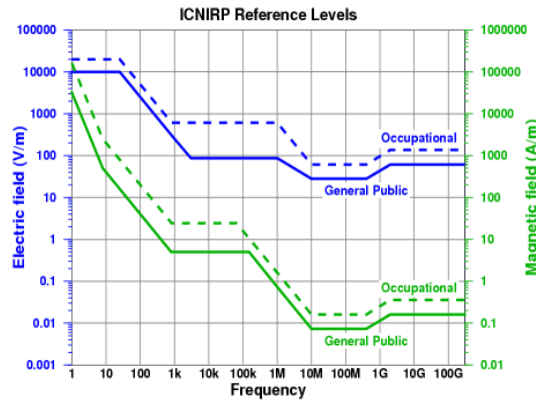


Fig. 2.2 Nivells de referència de l'ICNIRP [38]

Per a exposicions simultànies de diferents freqüències superiors a 100 kHz, s'ha de complir amb els següents requeriments:

$$\sum_{i \geq 100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{\vec{E}_i}{c} \right)^2 + \sum_{i > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{\vec{E}_i}{\vec{E}_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \tag{2.1}$$

$$\sum_{j \geq 100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left(\frac{\vec{H}_j}{d} \right)^2 + \sum_{j > 1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{\vec{H}_j}{\vec{E}_{L,j}} \right)^2 \leq 1 \tag{2.2}$$

On:

- E_i És l'intensitat de camp elèctric a la freqüència i .
- $E_{L,i}$ És el nivell de referència del camp elèctric a la freqüència i , segons s'indica a les Taules 2.2 i 2.3.
- H_j És l'intensitat de camp magnètic a la freqüència j .
- $H_{L,j}$ És el nivell de referència del camp magnètic a la freqüència j segons s'indica a les Taules 2.2 i 2.3.
- c Val $610 / f \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$ (f en MHz.), per a exposició ocupacional i $87 / f 0,5 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, per a exposició poblacional.
- d Val $1,6 / f \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ (f en MHz.), per a exposició ocupacional i $0,73 / f \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$, per a exposició poblacional.

2.1.2 Altres recomanacions internacionals i europees

La UIT (Unió Internacional de Telecomunicacions) ha aprovat diverses recomanacions respecte de les ones electromagnètiques i l'exposició humana com són:

- Recomanació K 52. Orientació sobre l'acompliment dels límits d'exposició de les persones als camps electromagnètics [39].
- Recomanació K 61. Directrius sobre l'amidament i la predicció numèrica dels camps electromagnètics per comprovar que les instal·lacions de telecomunicacions compleixen amb els límits d'exposició de les persones [40].

- Recomanació K 70 Tècniques de mitigacions per limitar l'exposició humana a camps electromagnètics a l'entorn d'estacions de radiocomunicacions [41].

El CENELEC (Comitè Europeu per a la Estandardització Electrotècnica) va aprovar, el desembre de 2008, la norma EN 50413:2008. *Norma básica para procedimientos de medición y cálculo de la exposición humana a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0Hz – 300 GHz)*. Ratificada per AENOR (Associació Espanyola de Normalització i Certificació) el març de 2009 [42].

El Parlament Europeu i el Consell van aprovar la Directiva 2004/40/CE [43], modificada per la Directiva 2008/46/CE [44] sobre les disposicions mínimes de seguretat i de salut relatives a l'exposició dels treballadors als riscos derivats dels agents físics (camps electromagnètics). Bàsicament, s'adopten els nivells de referència recomanats per l'ICNIRP per a l'exposició ocupacional. Aquesta Directiva encara no ha estat transposada a la legislació Estatal.

2.2 Legislació a l'Estat Espanyol

La legislació espanyola és el Reial Decret 1066/2001 [45], de 28 de setembre, pel qual s'aprova el Reglament que estableix condicions de protecció del domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitària davant d'emissions radioelèctriques.

Aquest Reial Decret es basa en la recomanació 1999/519/CE del Consell Europeu i per tant de l'ICNIRP. Els valors de les restriccions bàsiques, dels nivells de referència i de l'exposició simultània a diferents freqüències, són exactament iguals a la recomanació de l'ICNIRP. Aquest Reial Decret no legisla sobre l'exposició ocupacional.

L'Ordre CTE CTE/23/2002, d'11 de gener, per la qual s'estableixen condicions per a la presentació de determinats estudis i certificacions per operadors de serveis de radiocomunicacions, té per objecte regular les condicions, el contingut i els formats dels estudis i les certificacions que el Reial Decret 1066/2001 dicta que s'han de presentar a l'Administració de l'Estat. Aquesta Ordre ha estat modificada per l'Ordre ITC/749/2010, de 17 de març [46].

El text refós final, classifica les estacions radioelèctriques en 6 tipus:

- ER1: estacions radioelèctriques ubicades en sòl urbà, amb potència isòtropa radiada equivalent superior a 10 W.
- ER2: estacions radioelèctriques ubicades en sòl urbà, amb potència isòtropa radiada equivalent inferior o igual a 10 W i superior a 1 W.
- ER3: estacions radioelèctriques ubicades en sòl no urbà, amb potència isòtropa radiada equivalent superior a 10 W, a l'entorn de les quals hi hagi àrees en què habitualment hi pugui haver persones.

- ER4: estacions radioelèctriques ubicades en sòl no urbà, amb potència isòtropa radiada equivalent inferior o igual a 10 W i superior a 1 W, a l'entorn de les quals hi hagi àrees en què habitualment hi pugui haver persones.
- ER5: Estacions radioelèctriques ubicades en sòl no urbà sense zones de estada habitual de persones.
- Estacions radioelèctriques amb potència isòtropa radiada equivalent igual o inferior a 1 W.

Per a les estacions del tipus ER1 i ER3, s'ha de calcular un volum de referència en forma de paral·lelepípede o una altra figura geomètrica adequada, que tingui en compte els nivells d'emissió radioelèctrica preexistents a l'entorn de l'estació, aplicant, segons sigui el cas, les hipòtesis de camp proper o camp llunyà, i amb els factors de reflexió que siguin adequats a l'emplaçament, de manera que a l'exterior del volum no se superin els nivells d'exposició.

Per a les estacions tipus ER1 i ER2, quan en un entorn de 100 m hi hagi espais considerats sensibles (guarderies, centres d'educació infantil, primària, centres d'ensenyament obligatori, centres de salut, hospitals, parcs públics i residències o centres geriàtrics), l'estudi ha de tenir en compte la presència d'aquests espais. Això justifica la minimització dels nivells d'exposició sobre aquests espais. Per a aquestes estacions, a més, s'ha de presentar un certificat anual que ha de contenir mesures de nivells d'emissió radioelèctrica a les dites àrees sensibles.

Per a estacions radioelèctriques amb potència isòtropa radiada equivalent igual o inferior a 1 W, s'ha de presentar prèviament al Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, un projecte tècnic individualitzat per a cada tipus o model d'estació per a la seva aprovació, on s'han d'especificar les característiques tècniques d'aquestes estacions, un estudi dels nivells d'emissió radioelèctrica i les condicions per garantir les distàncies mínimes de seguretat que permetin l'acompliment dels llindars especificats en el Reial Decret 1066/2001. L'aprovació d'aquest projecte tècnic permetrà la posada en servei d'aquestes estacions amb la condició que semestralment s'ha de remetre una relació de les estacions instal·lades amb aquestes característiques.

Les mesures dels nivells d'emissió als quals es fa referència en aquesta Ordre es faran seguint el procediment que s'estableix a l'annex IV de la mateixa Ordre.

2.3 Legislació de la Generalitat de Catalunya

La Generalitat de Catalunya va aprovar el Decret 148/2001 [47], de 29 de maig, d'ordenació ambiental de les instal·lacions de telefonia mòbil i altres instal·lacions de radiocomunicació.

Els aspectes tècnics d'aquest Decret han estat anul·lats per la sentència de la "Sala de lo Contencioso-Administrativo del Tribunal Supremo" en data 22 de març de 2011 [48].

2.4 Recomanacions no reconegudes com estàndards

Un col·lectiu format per alguns científics, metges i enginyers no està d'acord amb la comunitat científica que ha desenvolupat les recomanacions i els estàndards que la gran majoria de països han adoptat per legislar en aquesta matèria.

Aquest col·lectiu, de vegades amb associacions en contra que les persones rebin camps electromagnètics, han creat i signat documents demanant la reducció dels nivells de referència en les legislacions. Algunes de les més populars són:

- Resolució de Salzburg [49], publicada el 2000, sobre les estacions base de telecomunicacions mòbils, es un document signat per un grup del col·lectiu científic, on s'afirmava:

Actualment, no existeixen proves d'un llindar a partir del qual els efectes per a la salut siguin adversos. Les recomanacions de límits específics d'exposició estan subjectes a una considerable incertesa i haurien de ser considerades com un punt de partida. Es recomana, pel total de radiacions d'alta freqüència (suma d'antenes i d'altres fonts), un valor límit de 100 mW/m^2 ($10 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$). Per a la protecció preventiva de la salut pública, el nivell de referència preliminar pel total d'exposicions causades per serveis modulats d'alta freqüència, es recomana un nivell d' 1 mW/m^2 ($0,614 \text{ V/m}$).

- Bioinitiative Report [50], publicat el 2007, és un document signat per un altre grup del col·lectiu científic on es fa una revisió d'algunes investigacions sobre l'impacte dels camps electromagnètics en la salut.

En aquest informe, com a límit de precaució, es recomana un nivell de $0,1 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ ($0,614 \text{ V/m}$) per a exteriors d'edificis i un nivell de $0,01 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ ($0,194 \text{ V/m}$) per a interiors d'edificis.

Per alta banda, també es demana substituir la tecnologia Wi-Fi en centres docents i biblioteques, per sistemes amb fils.

- D'altres documents, com són les declaracions de Freiburg, Catània, Benevento, Alcalà, etc., les associacions abans esmentades, de vegades juntament amb persones del col·lectiu científic, demanen bàsicament una reducció dels nivells de referència.

2.5 Estat actual de les investigacions en camps electromagnètics relacionats amb la salut infantil

La Health Protection Agency del Regne Unit [51] ha realitzat càlculs pel procediment de diferències finites en el domini temporal (FDTD) a les freqüències de 2.4 i 5 GHz, utilitzant un model informàtic, en vòxels, d'un nen de 10 anys per investigar l'exposició humana a camps electromagnètics produïts per sistemes que utilitzen la tecnologia Wi-Fi.

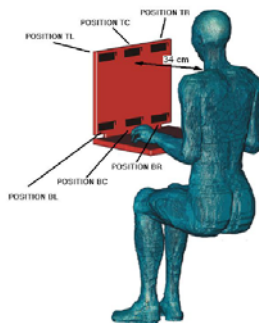


Fig. 2.3 Model en vòxels i antenes integrades en un ordinador portàtil [51]

L'estudi presenta dades de SAR mitjanada a tot el cos i valors de pic de SAR localitzada del model en una varietat de condicions d'exposició. En pràcticament totes les situacions estudiades, els valors calculats de SAR estaven considerablement per sota de la restricció bàsica de l'ICNIRP. En el pitjor cas de configuració d'exposició, el valor de pic més alt de SAR localitzada, calculada al cap, per a una antena dipol, a una distància de 3 cm de la cara, va resultar de 8.17 W kg^{-1} a 2.4 GHz, i de 5.22 W kg^{-1} per a 5 GHz.

Per a un escenari típic Wi-Fi, utilitzant una antena F invertida (integrada en un ordinador portàtil), amb una potència de sortida de 100 mW, a uns 34 cm de distància, i amb un cicle de treball (duty factor) of 0.1, el pic màxim de SAR localitzada calculada va ser de 3.99 mW kg^{-1} al tors, a una freqüència de 2.4 GHz.

L'ICNIRP, en una revisió dels estudis científics efectuats recentment [52], per a freqüències per sobre dels 100 kHz, incloent-hi les freqüències utilitzades per les modernes comunicacions sense fils, exposa que s'han finalitzat recentment molts dels programes d'investigació nacionals i internacionals, d'altres encara estan en realització. Les noves dades han de ser revisades i avaluades respecte de possibles perills per a la salut, prèviament a una revisió de la recomanació de l'ICNIRP en aquesta banda de freqüència.

Actualment, aquest procés d'avaluació i revisió s'està portant a terme. No obstant, és opinió de l'ICNIRP que la literatura científica publicada des de la recomanació de 1998, no ha mostrat cap evidència de qualsevol efecte advers per sota de les restriccions bàsiques i aquesta recomanació no necessita una revisió immediata.

Algunes conclusions del comitè espanyol CCARS (Comité Científico Asesor sobre Radiofrecuencias y Salud), al seu informe de 2009 [53], són:

- Respecte dels períodes d'exposició o a la situació de població infantil i juvenil no es disposa de dades suficients i s'ha de recomanar un ús racional dels telèfons mòbils.
- D'acord amb diferents organismes competents, actualment no es troben motius científics que justifiquin una reducció dels actuals límits d'exposició a les ones de radiofreqüència de la telefonia mòbil.

En un informe de 2009 de l'Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, del Statens strålskyddsinstitu [54], s'afirma:

- S'han realitzat molts estudis amb cèl·lules que han trobat resultats genotòxics i no genotòxics. No s'ha trobat cap estudi que hagi donat resultats positius que estiguin ben establerts en termes de qualitat i replicació experimental.

A l'informe del SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) del 2009 [55], de la Comissió Europea de Protecció de la Salut i el Consum, es pot llegir:

- Es pot concloure des de tres línies independents d'evidència (estudis epidemiològics, amb animals i in vitro), que és poc probable que l'exposició a camps de RF condueixi a un increment del risc de patir càncer en humans. Tot i que, en general, la durada dels estudis d'exposició en humans a camps de RF procedents de telèfons mòbils, és menor que la inducció d'alguns tipus de càncers. S'han de seguir realitzant estudis a llarg termini.

A l'informe de 2009 de Schriften des Forschungszentrums Jülich Gesundheit [56], sobre Children's health and RF EMF exposure, es conclou:

- Per a nens més petits de 8 anys, no existeixen evidències conclusives per a l'assumpció que el nivell de SAR al cap dels nens sigui superior als dels adults. Per a exposicions a tot el cos, hi ha alguna evidència que els nivells de referència de l'ICNIRP, sota certes circumstàncies, no puguin assegurar que no s'excedeix la restricció bàsica.
- Una revisió global de la literatura científica existent no suporta l'assumpció que la salut dels nens es vegi afectada per exposicions de camps electromagnètics de radiofreqüència procedents de telèfons mòbils o estacions base. Tot i que respecte a l'estimació de riscos per als humans, per a efectes cognitius en particular i per a molèsties generals per a la salut, l'evidència és bastant limitada i no es pot extreure cap conclusió.

- Tots els estudis concernents a la mainada no suggereixen cap amenaça significant al desenvolupament dels nens quan estan exposats a nivells de radiofreqüència no tèrmics.

Tot i això, en la seva Nota de Premsa número 208, de 31 de maig de 2011, l'OMS, a través de la seva agència IARC (International Agency for Research on Cancer), va classificar els camps electromagnètics de radiofreqüències com a possible carcinogen per als humans (GRUP 2B) [57]. Aquesta valoració serà publicada en el volum 102 de les Monografies de l'IARC.

D'altra banda, el 27 de maig de 2011, l'Assemblea Parlamentària del Consell d'Europa (APCE) en la seva resolució 1815 [58], demana als governs que adoptin totes les mesures raonables per reduir l'exposició a camps electromagnètics. Segons els parlamentaris, els governs haurien de donar preferència a les connexions a Internet per cable, especialment en escoles i aules per als infants en general i al mateix temps regular estrictament l'ús de telèfons mòbils en les escoles, donar informació i realitzar campanyes de sensibilització sobre els riscos dels possibles efectes nocius biològics a llarg termini sobre el medi ambient i la salut humana, especialment dirigits als nens, adolescents i jovent en edat de procrear".

CAPÍTOL 3 DESENVOLUPAMENT DEL PROCEDIMENT DE MESURA

Una vegada es coneixen les propietats dels camps electromagnètics que es pretenen mesurar i la normativa a aplicar, la qüestió que es planteja és com es mesura.

El procediment de mesura que es desenvolupa pretén simular el pitjor cas possible d'exposició a camps electromagnètics en les aules dels centres docents.

Els objectius d'aquest capítol són:

- Dissenyar un procediment de mesura que pugui servir com a instrucció tècnica per a la realització d'aquestes en ambients docents, intentant reduir al màxim la dispersió en els amidaments.
- Dissenyar aquest procediment de mesura d'acord amb la normativa vigent.

3.1 Consideracions prèvies

S'ha de tenir en compte que en una aula plena d'infants, cadascú amb un ordinador connectat a la xarxa de l'escola via Wi-Fi, els nivells d'exposició que rebran serà funció de diferents variables, com són:



Fig. 3.1 Disposició de les antenes Wi-Fi en un ordinador portàtil Acer Aspire One [59]

- La disposició de les antenes en cada ordinador.
- La disposició dels pupitres de l'alumnat.
- El lloc on s'ha instal·lat el punt d'accés Wi-Fi, sobretot si té control de potència.
- La forma de les parets, del sostre i del terra de l'aula.

- Els materials amb què s'han construït les parets, el sostre i el terra.
- L'estàndard 802.11 utilitzat.

Les antenes disposades en un ordinador portàtil (Fig. 3.1), acostumen a ser del tipus PIFA (Planar Inverted F antenna). Consten típicament d'un element pla, de forma rectangular, disposat per sobre d'un pla de massa i un petit curtcircuit en forma de làmina (Fig. 3.2).

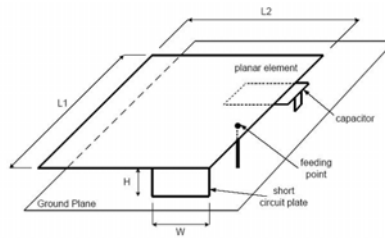


Fig. 3.2 Esquema d'una antena PIFA [60]

La freqüència de ressonància d'una antena PIFA pot ser aproximada per les següents equacions:

$$L1 + L2 = \lambda /4 \tag{3.1}$$

$$\text{Si } W/L1=1, \text{ llavors } L1 + H = \lambda /4 \tag{3.2}$$

$$\text{Si } W=0, \text{ llavors } L1 + L2 + H = \lambda /4 \tag{3.3}$$

On:
Els valors de L1, L2, W i H es representen a la Fig. 3.2

Per tant, es pot aproximar la longitud màxima d'una antena PIFA com $\lambda/4$, i així es pot establir que la distància de camp llunyà $R > \frac{2D^2}{\lambda}$ d'una antena PIFA a 2400 MHz és 1,56 cm.

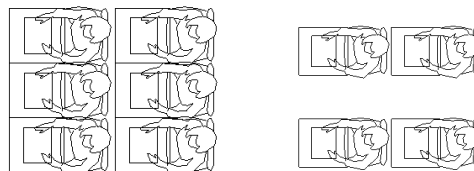


Fig. 3.3 Diferents disposicions de pupitres en una aula

Atès que els nivells d'exposició de camps electromagnètics més elevats a l'aula procediran del propi ordinador d'un usuari o de l'ordinador d'un company que estigui a la vora, la disposició dels pupitres juga un paper important en aquests nivells d'exposició.(Fig. 3.3).

La forma de sostre, terra, parets i els materials amb que estan construïts, també juga un paper important. En el treball realitzat per Bahillo A. i d'altres [61], es va realitzar una anàlisi amb eines de simulació sobre l'efecte d'un sostre pla i una paret coberta per una capa metàl·lica, a diferents freqüències, polaritzacions i angles d'incidència d'una ona plana, sobre el nivell de camp elèctric, així com l'efecte sobre la posició dels mesuradors.

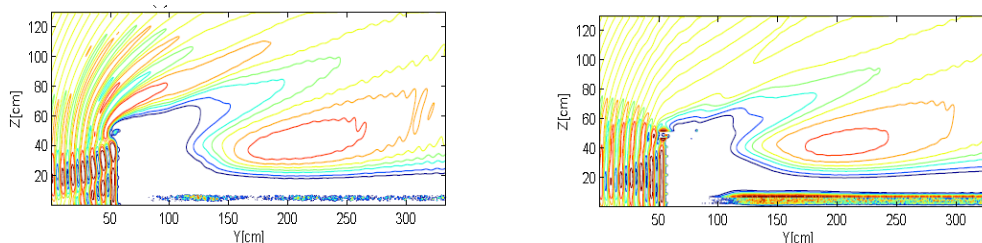


Fig. 3.4 Simulacions en polarització horitzontal a l'esquerra i vertical a la dreta [61]

Els resultats obtinguts en camp elèctric, podien variar entre -10 dB i +2 dB comparant-los amb els calculats per a una ona localment plana a l'espai lliure (Fig. 3.4).

A l'estudi realitzat per Peyman A. [62], sobre mesures d'ordinadors amb dispositius Wi-Fi preses en laboratori, es conclou:

- Després d'engegar un ordinador, les mesures de potència de les salves transmises al llarg dels primers 30 minuts, tenien una variació del 15%. Després de 2 hores de transmissió, la variació era menor a un 3%. Per tant, es posa de manifest la necessitat d'un temps d'escalfament dels ordinadors de mesura adequat.
- Els resultats indiquen que per a una posició donada, els nivells de densitat de potència en cada ordinador portàtil, fluctuen entre 2 (de vegades 3) nivells diferents a causa de la commutació per diversitat d'antenes. El camp E màxim trobat a 1 m varia des de (719 ± 14) mV/m a (1306 ± 3) mV/m. La densitat de potència de tots aquests valors està per sota de la que es podria esperar amb una PIRE de 100 mW.
- Globalment, els resultats presenten patrons de radiació similar per a tots els ordinadors portàtils, amb un mínim en la direcció frontal de l'ordinador (tors de l'usuari). Es van observar dos màxims simètricament oposats angularment a través del pla vertical que forma la bisectriu entre la pantalla i el teclat. Generalment, els ordinadors tenen muntades dues antenes configurades en commutació, segons s'ha mostrat a la Fig 3.1, cadascuna d'aquestes antenes podrien ser les responsables de produir els diferents màxims.

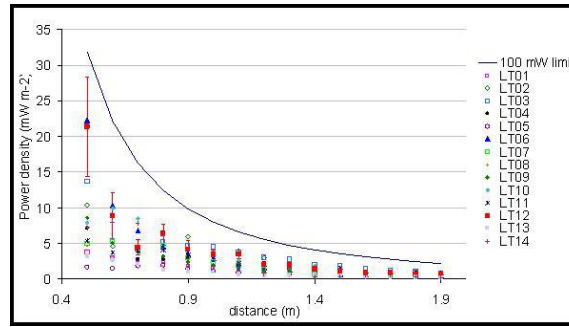


Fig. 3.5 Càlcul de la densitat de potència de 14 ordinadors mesurats en camp elèctric. La barra d'error representa la repetibilitat de les mesures del camp E per a 50 mostres (s'han representat només les variacions més significatives) [62]

Si el punt d'accés no està instal·lat a la mateixa aula, s'haurà de tenir en compte l'atenuació que produiran els materials amb que estan construïdes les parets, sostres i terres (veure Taula 3.1).

TIPUS DE MATERIAL	ATENUACIÓ
TIPUS 1: Materials sintètics o fusta de 2 o 3 cm d'amplada	8 dB
TIPUS 2: Parets de 4 o 5 cm d'amplada	13 dB
TIPUS 3: Parets de 10 o 15 cm d'amplada	21 dB
TIPUS 4: Parets de 30 o 60 cm d'amplada	33 dB
TIPUS 5: Vidres	19 dB
TIPUS 6: Metalls	32 dB

Taula 3.1 Nivells d'atenuació de diferents materials a 2400 MHz. [63]

Pel que fa a la banda de treball utilitzada, atès que l'atenuació a l'espai lliure a la mateixa distància és directament proporcional a la freqüència, aquesta serà superior a la banda de 5 GHz que a la de 2,4 GHz (uns 6,4 dB). D'altra banda, els estàndards que treballen a 5 GHz ho fan a una potència 3 dB superior que els que actuen a 2,4 GHz. Per últim, cal recordar que l'estàndard 802.11/n treballa amb tecnologia MIMO i s'haurà de comprovar el tipus de configuració, si s'utilitza aquesta tecnologia.

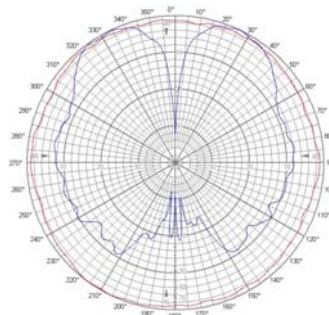


Fig. 3.6 Diagrames de radiació E en vermell i H en blau, de l'antena Kathrein 80010430 a 5150 MHz. [64]

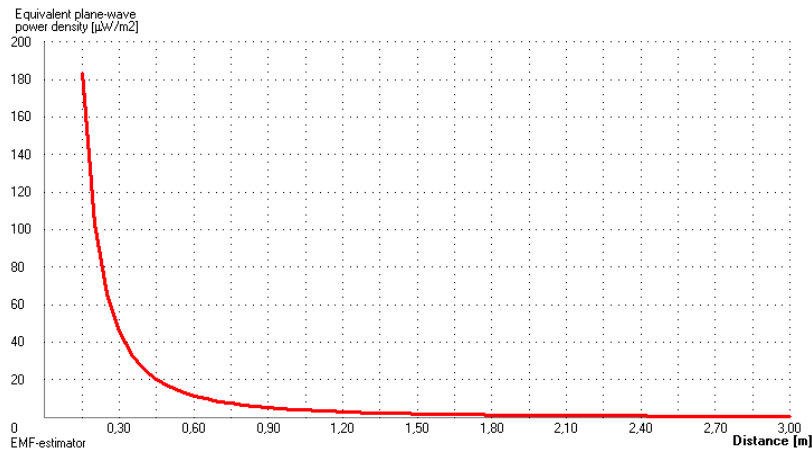


Fig. 3.7 Densitat de potència obtinguda a diferents distàncies

S'ha realitzat una simulació amb el programari EMF-estimator, que acompanya la recomanació de la UIT K70, de la densitat de potència esperada a diferents distàncies per a una ona plana, amb un coeficient de reflexió total $((1 + \rho)^2)$ valorat en 2,58 i amb un transmissor de 200 mW de PIRE, per a una freqüència de 5150 MHz.

S'ha pres com a diagrama de radiació per a la simulació, el de l'antena del fabricant Kathrein, model 80010430, a una freqüència de 5150 MHz. (Fig. 3.6).

La font transmissora s'ha establert a 1 metre d'alçada i el punt d'observació a les diferents distàncies s'ha establert a la mateixa alçada. Els valors de densitat de potència calculats, amb les condicions esmentades, es poden observar a la Fig. 3.7.

Tenint en compte que la legislació vigent estableix un nivell de referència màxim de densitat de potència de $10 \text{ W}/\text{m}^2$, es pot assumir que en qualsevol cas es complirà la normativa vigent.

3.2 Procediment de mesura

En la present descripció del procediment que es presenta, es pressuposa que els ordinadors i la xarxa treballen amb un sistema operatiu Windows i la xarxa és Ethernet. Si no fos així, s'hauria d'adaptar aquesta metodologia al sistema operatiu i xarxa adequats. Tot i això, s'ha intentat realitzar aquesta descripció el més genèricament possible.

En una aula, es generen camps electromagnètics provocats pels punts d'accés i pels ordinadors de l'alumnat, amb aquesta informació i les consideracions anteriors, s'ha decidit desenvolupar el procediment de mesures en quatre fases:

1. Fase prèvia a les mesures, on es recull tota la informació possible de la infraestructura a mesurar, així com realitzar una visita prèvia per completar aquesta informació.
2. Mesures sense enviar dades, en aquesta fase es realitza una presa de mesures per tal d'avaluar els nivells d'exposició a camps electromagnètics produïts pel soroll de fons present a l'aula, que després es compararà amb els nivells d'exposició produïts pels ordinadors i els punts d'accés.
3. Mesures amb els punts d'accés presents a l'aula enviant dades, per tal d'avaluar els nivells d'exposició a camps electromagnètics produïts per aquests.
4. Mesures amb els ordinadors enviant dades, per tal d'avaluar els nivells d'exposició a camps electromagnètics produïts per aquests a diferents ubicacions a l'aula.

3.2.1 Fase prèvia a la presa de mesures

Totes les instal·lacions amb tecnologia Wi-Fi realitzades en centres docents haurien de disposar d'una Memòria Tècnica on s'han de descriure els elements de la instal·lació i els paràmetres de configuració. El personal que ha de prendre les mesures hauria de tenir accés a aquesta Memòria per conèixer la posició dels punts d'accés, les aules on és interessant mesurar, l'estàndard 802.11 utilitzat, si és una xarxa Ethernet i el tipus de sistema operatiu que utilitzen la xarxa i els ordinadors. A més, s'haurà de recollir informació com el nombre de nens a les aules on s'ha de mesurar, la disposició dels pupitres, etc.

S'han de comprovar els paràmetres dels punts d'accés, si estan programats amb la màxima potència possible i/o disposen d'algun tipus de control de potència. També s'ha de comprovar el tipus d'estàndard 802.11 que suporten.

En una visita prèvia s'ha de realitzar un escaneig amb un ordinador amb un programari detector de xarxes per comprovar quins punts d'accés donen cobertura a l'aula on es pretén mesurar.

De fet, s'ha de tenir en compte que la velocitat de les dades és funció de la relació senyal a soroll (SNR) rebuda, tant en l'ordinador com en el punt d'accés, veure taula 3.2.

SNR	Senyal	Connexió	Velocitat
SNR > 40dB	Molt bona	Sempre	Molt rapida
25dB < SNR < 40dB	Bona	Sempre	Rapida
15dB < SNR < 25dB	Baixa	Sempre	Lenta
10dB < SNR < 15dB	Molt baixa	Intermitent	Mot lenta
5dB < SNR < 10dB	Deficient	Mai	Inexistent

Taula 3.2 Velocitat de les dades en funció de la SNR

Els dispositius d'usuari Wi-Fi poden estar configurats de dues formes diferents:

- Escaneig actiu

El dispositiu d'usuari emet senyals per veure si algun punt d'accés respon.

- Escaneig passiu

El dispositiu d'usuari espera rebre un senyal del punt d'accés, que s'emet cada cert interval fix de temps, anomenat "Beacom Frame". Aquests senyals identifiquen cada punt d'accés, aquest mètode és el més utilitzat.

S'ha de tenir en compte que, en general, una transmissió Wi-Fi d'un ordinador portàtil només s'efectua en un dels següents casos:

- Per respondre a una interrogació de presència d'un punt d'accés. Aquest tipus d'emissió dura uns mil·lisegons i la densitat de potència amitànjada en el temps serà menyspreable.
- Per lliurar una petició d'un punt d'accés (ACK). La transmissió dura un centenar de microsegons i la potència amitànjada en el temps serà menyspreable.
- Per transmetre dades. L'emissió durarà el temps necessari per enviar totes les dades en forma de salves (paquets) de radiofreqüència, separades durant un temps adequat per rebre les successives informacions d'ACK. La potència amitànjada en el temps pot variar en funció de la quantitat de dades a enviar.

Atesa la potència que emeten els transmissors de tecnologia 802.11, es preveu realitzar les preses de mesures d'exposició només en Fase 1, segons s'indica a l'Annex IV de l'Ordre CTE/23/2002.

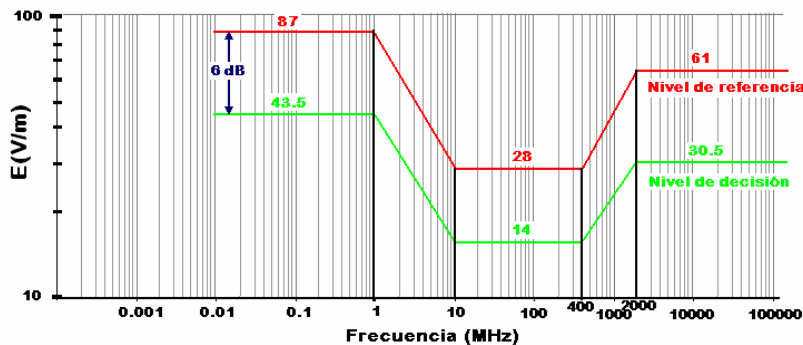


Fig. 3.8 Nivells de decisió en camp elèctric segons l'Annex IV de l'Ordre CTE/23/2002 [65]

Els resultats obtinguts en el procés de mesurament per a cada magnitud s'haurien de comparar amb els anomenats “nivells de decisió” que estan establerts en 6 dB per sota dels nivells de referència que assenyala l'ordre CTE/23/2002 (Fig. 3.8). Però com que els nivells que s'esperen són tan baixos, no caldrà realitzar aquesta comparació.

Els valors dels amidaments han de ser impertorbables. Per tant, les mesures d'exposició han de ser preses sense alumnat a l'aula.

Les mesures d'exposició s'han de prendre en camp llunyà.

Per a prendre les mesures d'exposició s'ha de disposar del següent instrumental:

- Mesurador i sonda triaxial amb resposta plana o ponderada per a camp elèctric, capaç de mesurar les freqüències assignades a la tecnologia WI-Fi que es pretenen mesurar.
- Mesurador de distàncies. Es recomana un mesurador òptic i una cinta mètrica.
- Trípod de fusta.
- Càmera de fotos.
- Un nombre d'ordinadors portàtils amb connexió Wi-Fi i cablada Ethernet, que suportin les diferents variants de l'estàndard 802.11, segons les especificacions indicades al punt 3.2.4.
- Programari per fer proves de càrrega de xarxes informàtiques.
- Programari detector de xarxes amb protocol 802.11 (Sniffer).

Atès que es preveu que els nivells amidats siguin baixos, s'hauran de comparar amb el nivell mínim del marge dinàmic del mesurador utilitzat.

És important apagar els telèfons mòbils durant l'execució de la presa de mesures, atès que les ones emeses per aquests podrien afectar els valors amidats.

3.2.2 Mesures d'exposició sense dades a través del punt d'accés Wi-Fi

S'engegaran tots els ordinadors un mínim de 30 minuts abans de realitzar les mesures, per escalfar-los prèviament.

Sense transmissió de dades a través dels punts d'accés, recórrer amb el mesurador l'entorn de l'aula escollida, prenent mesures instantànies a fi d'identificar els nivells d'exposició. Variar l'altura relativa de la sonda respecte del terra entre 0 i 2 metres, estimant els punts de mesura més significatius on prendre les mesures durant el temps preceptiu i de la forma que s'indica a l'Ordre CTE 23/2002. Els valors obtinguts amb aquestes mesures es compararan amb els obtinguts enviant i rebent dades a través dels punts d'accés.

3.2.3 Mesures d'exposició provocades pel punt d'accés

Es connectarà un ordinador, amb una adreça IP vàlida, en el cas que no hi hagi servidor DHCP, a través de fils a la xarxa de l'escola. Si no fos possible connectar-lo a la xarxa cablada, es realitzarà la connexió mitjançant el punt d'accés més allunyat possible de l'aula de mesura, per evitar afectacions en la lectura dels mesuradors.

Es connectarà un altre ordinador, a través del punt d'accés de l'aula que es vol mesurar. S'assignarà manualment una adreça IP vàlida en el cas que no hi hagi servidor DHCP.

Es pressuposa que tots els ordinadors tenen instal·lat el programari per a fer proves de càrrega de xarxes informàtiques.

La posició de la pantalla dels ordinadors respecte del teclat, ha de formar un angle entre 110 i 115 graus, que, en general, és la posició més còmoda per mirar la pantalla.

El que es pretén és que el punt d'accés estigui radiant el màxim temps possible durant els sis minuts que ha de durar el temps de mesura.

Obrir el programari per fer proves de càrrega als dos ordinadors; el que està connectat via Wi-Fi dins l'aula de mesura es configurarà com a servidor i l'altre, com a client.

En cas que el punt d'accés de l'aula que es vol mesurar tingui control de potència, s'ubicarà l'ordinador amb connexió Wi-Fi en el lloc més allunyat possible d'aquest punt d'accés, dintre de l'aula.

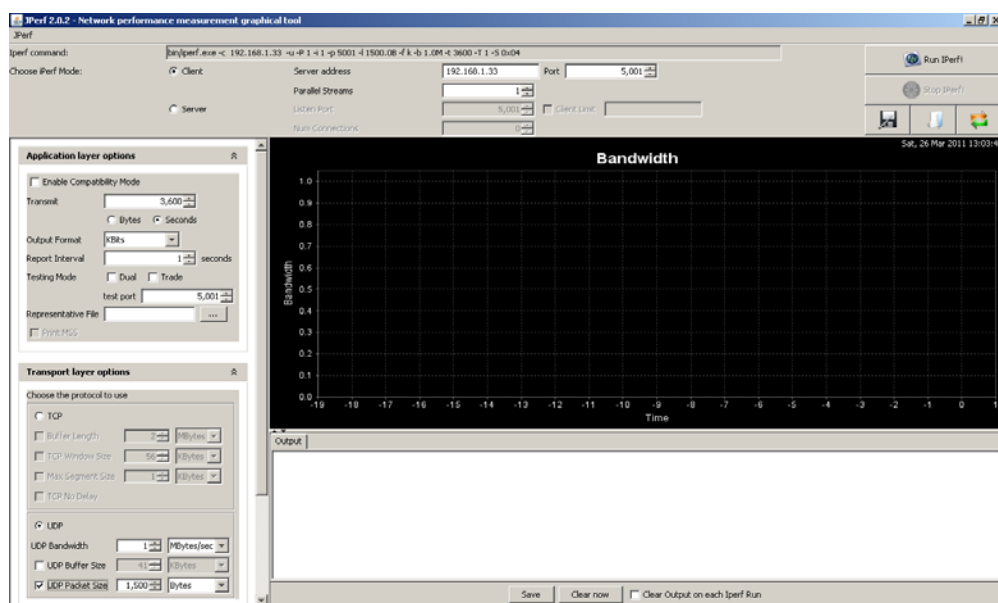


Fig. 3.9 Configuració com a client d'un programari per a fer proves de càrrega de xarxes informàtiques

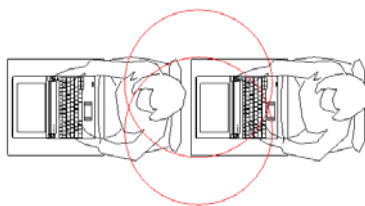


Fig. 3.10 En vermell, diagrames de radiació omnidireccional en el pla horitzontal de les dues antenes Wi-Fi integrades en un ordinador portàtil.

Als dos ordinadors es configurarà un temps de transmissió de 6 minuts o superior. Per tal que la transmissió sigui el més continua possible (sense senyalitzacions ACK), es configurarà una transmissió UDP i paquets de 1500 Bytes, que és la grandària màxima suportada per les xarxes Ethernet.

Executar en els dos ordinadors el programari per fer proves de càrrega.

Recórrer amb el mesurador l'entorn de l'aula escollida per mesurar, prenent amidaments instantanis a fi d'identificar els punts de màxima exposició i variar l'altura relativa de la sonda respecte del terra entre 0 i 2 metres, estimant els més significatius per prendre les mesures.

Una vegada identificats els punts de màxima exposició, es procedirà a prendre les mesures en cada punt, amitjanant els resultats en un temps no inferior als 6 minuts. Es mesurarà i s'anotará la distància des de cada punt de mesura a les fonts emissores. Es realitzaran fotografies de cada punt de mesura.

S'identificarà en un plànol o croquis de l'aula cadascun dels punts de mesura.

S'anotaran les hores d'inici i final de cada mesura i els valors amitjanats i màxims obtinguts.

3.2.4 Mesures d'exposició provocades pels ordinadors portàtils

Els nivells d'exposició màxims seran produïts pel propi ordinador d'un usuari, o pels ordinadors de les persones que estiguin més pròximes en un radi de 360°, tal com mostren les Figures 3.10 i 3.11.

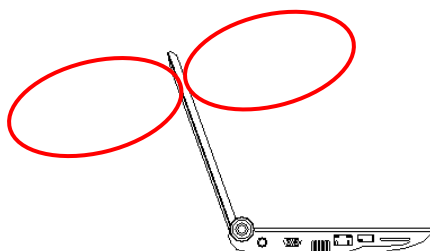


Fig. 3.11 En vermell, diagrama de radiació omnidireccional en el pla vertical d'una antena Wi-Fi integrada en un ordinador portàtil

El nombre d'ordinadors portàtils necessaris per realitzar aquest tipus de mesura serà funció de la disposició dels pupitres a l'aula i superior al nombre de canals diferents que arriben a l'aula de mesures, d'aquesta forma sempre estaran tots els canals ocupats i un o més ordinadors, a l'espera per transmetre.

Segons la disposició dels pupitres, els ordinadors que calen a cada aula, són:

- Si és en columnes d'un pupitre es necessitaran un mínim de dos ordinadors.
- Si és en columnes de dos pupitres caldran com a mínim 4 ordinadors, i així successivament, encara que hi hagi més d'un ordinador que entri en conflicte amb d'altres per manca de canals.

A aquest nombre d'ordinadors se ha d'afegir l'ordinador que farà de servidor.

Es configurarà l'ordinador connectat amb fils a la xarxa o connectat via Wi-Fi al punt d'accés més allunyat com a servidor. Es configurarà com a client, la resta d'ordinadors.

Ubicar els ordinadors situats a l'aula on es fan les mesures en pupitres contigus de la mateixa columna de pupitres.

Es pretén que els ordinadors situats a l'aula, on es prenen les mesures, estiguin enviant dades el màxim temps possible durant el sis minuts que ha de durar el temps de mesura per amidar els nivells d'exposició dels infants asseguts. Per tant, es configuraran transmissions UDP a l'igual que a l'apartat 3.2.3 a tots els ordinadors presents a l'aula.

Ubicar el mesurador en el lloc on seuria un dels nens amb els ordinadors disposats als pupitres de davant i de darrera.

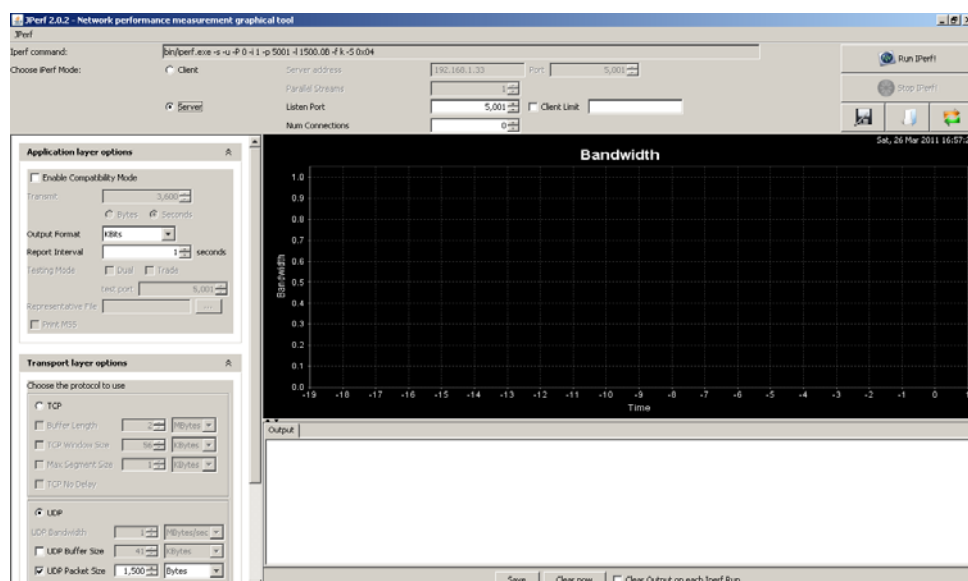


Fig. 3.12 Configuració com a servidor d'un programari per a fer proves de càrrega de xarxes informàtiques

Executar en tots els ordinadors el programari per fer proves de càrrega.

Variar l'altura relativa de la sonda respecte del terra, en la ubicació elegida anteriorment, a fi d'identificar l'altura de màxima exposició on seu un dels alumnes, per prendre els mesuraments.

Una vegada identificada l'altura de màxima exposició, es procedirà a prendre la mesura, amitjanant el resultat en un temps no inferior als 6 minuts. Es mesurarà i s'annotarà la distància des del punt de mesura a la font emissora més propera. Es realitzaran fotografies del punt de mesura. S'identificarà en un plànol o croquis de l'aula el punt de mesura. S'annotaran les hores d'inici i final de la mesura i els valors amitjanats i màxims obtinguts.

Repetir aquesta mesura per cada pupitre on s'han disposat els ordinadors portàtils.

Repetir aquest procediment de mesura en diferents zones de l'aula com cantonades, centre de l'aula i pupitres més propers i més allunyats dels punts d'accés. Aquests punts de mesura es triaran en funció de la disposició dels pupitres, posició dels punts d'accés i de la forma i mida de l'aula.

CAPÍTOL 4 CONCLUSIONS

Després de prendre les mesures documentades a l'annex 3 del present TFC, s'ha arribat a les següents conclusions:

- 1) Els sistemes de telecomunicació amb tecnologia Wi-Fi compleixen els valors de referència de la legislació actual.
- 2) Els nivells més alts d'exposició a les aules, són provocats pels ordinadors portàtils dels alumnes.
- 3) Totes les instal·lacions de radiocomunicacions en una escola haurien de disposar d'una Memòria Tècnica.
- 4) Es considera vàlid el procediment desenvolupat per realitzar mesures en ambients docents, atès que la dispersió màxima amidada, amb valors vàlids en un període amitjanat de 6 minuts, és de 8,3 dB.
- 5) Si es volen utilitzar mesuradors en banda ampla, el seu rang inferior de mesura hauria de ser $\leq 0,2$ V/m, això és vàlid en el cas que es vulgui comprovar el compliment de la legislació, en cas contrari, s'haurà d'utilitzar equipament de mesura en banda estreta si el que es vol és conèixer amb més exactitud els valors d'exposició.
- 6) La ubicació de l'equip de mesura dins la classe, té una importància relativa, generalment els valors amidats prop de les parets és de l'ordre d'unes centenes de mV/m superior als valors amidats als passadissos.
- 7) La dispersió que pot introduir la variació de la potencia de sortida dels ordinadors, si s'assumeix que aquestes poden tenir variacions entre un 3% i un 10%, representa una variació inferior a 0,5 dB.
- 8) Els nivells de camp elèctric amidats amb els ordinadors transmetent, quan s'analitzen en el temps, tenen moltes variacions del nivell de camp, probablement a causa de temps d'espera en el procés de transmissió entre els ordinadors i els punts d'accés.

CAPÍTOL 5 REFERÈNCIES

- [1] Comunicat de premsa, Projecte Heura, Generalitat de Catalunya, Departament de Presidència, Oficina de Comunicació del Govern, 2006
- [2] Informe d'avaluació educat1x1, Generalitat de Catalunya, Departament d'Educació, 2010
- [3] Lakehead University Magazine SpringSummer, 2008
<http://magazine.lakeheadu.ca/page.php?p=81>
- [4] Ministeri Federal Alemany de Medi Ambient
<http://dipbt.bundestag.de/dip21/btd/16/061/1606117.pdf>
- [5] CCOO, 2010
http://conc.ccoo.cat/ensenyament/actualitat/iNFORMA_wifi_im.pdf
- [6] European Commission, Special Eurobarometer 293, E-Communications Household Survey, 2008
- [7] ORDRE CTE/23/2002, de 11 de enero, *por la que se establecen condiciones para la presentación de determinados estudios y certificaciones por Operadores de Servicios de Telecomunicaciones* BOE, 12.01.2002
- [8] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*, Oberschleissheim, ICNIRP, 1977
- [9] IEEE Standard for Information technology. Telecommunications and information exchange between Systems. Local and metropolitan area Networks. Specific requirements. Part 11: *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, New York, IEEE, 2007
- [10] Imatge 1.2, DSSS
<http://www.telecomabc.com/d/dsss.html>
- [11] Imatge 1.3, FHSS
<http://www-personal.umich.edu/~csev/hng/book/08wireless/08wireless.htm>
- [12] Imatge 1.4, OFDM
http://www.s3.kth.se/signal/project_course/2007/green/
- [13] Imatge 1.5, CSMA-CA
http://mac-protocol.blogspot.com/2011/01/csma-ca-model-of-80211-mac-protocol_12.html

- [14] ETSI EN 300 328. *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM). Wideband transmission systems. Data transmission equipment operating in the 2,4 GHz ISM band and using wide band modulation technique*. Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive
- [15] ETSI EN 301 893, *Broadband Radio Access Networks (BRAN); 5 GHz high performance RLAN*. Harmonized EN covering essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive
- [16] Orden ITC/332/2010, de 12 de febrero, *por la que se aprueba el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF 2010)*, BOE, 19.02.2010
- [17] Imatge 1.6, separació canals Wi-Fi DSSS
<http://www.dd-wrtenespanol.com/mejorando-la-senal-wireless/>
- [18] Imatge 1.7, frequency hopping FHSS
<http://www.data-linc.com/articles.htm>
- [19] Imatge 1.8, Canalitzacions en la banda de 5 Ghz
http://www.cisco.com/en/US/docs/wireless/technology/mesh/7.0/design/guide/MeshAP_70.html
- [20] Balanis, C. A., *Antenna Theory, Analysis and Design*, 2nd edition, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley & Sons, 1997.
- [21] Imatge 1.10, Spherical_Coordinates
http://www.ritmodominicano.com/wiki.php?title=Coordenadas_polares
- [22] Imatge 1.11, diagrama de radiació omnidireccional
<http://serviciosinalambricos.com/como-elegir-una-antena/>
- [23] Imatge 1.11, antena omnidireccional
<http://www.roquetaswireless.com/tienda/Antenas-Wireless11bg24ghz/eRize-ERZA24O-05R-Antena-Omnidireccional-5dbi>
- [24] Imatge 1.12, diagrama de radiació d'una antena directiva
<http://dr-upc.blogspot.com/2010/09/recepcion.html>
- [25] Imatge 1.12, antena directiva
http://www.sateliteyconsolas.com/index.php?cPath=56_70_7070
- [26] Imatge 1.13, ona localment plana
<http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/fisica/Ondas/Ondas06.htm>
- [27] Imatge 1.14, EMF
<http://fisicacalculo.blogspot.com/2009/12/velocidad-de-la-luz.html>

- [28] Imatge 1.15, field region
<http://www.antenna-theory.com/spanish/basics/fieldRegions.php>
- [29] Imatge 1.16, reflexió terra plana (pàg. outdated)
http://www.oocities.org/ingenieria_antenas/texto2.htm
- [30] Alexis A. Dowhuszko, *Introducción a los Sistemas de Comunicación Inalámbricos equipados con Múltiples Antenas*, Laboratorio de Comunicaciones Digitales, FCEFYN, Universidad Nacional de Córdoba
<http://www.efn.uncor.edu/escuelas/computacion/files/IntroduccionSistemasMIMO.pdf>
- [31] Imatge 1.18, Huggins E.R., *Undegraduate Calculus-based Physics*
<http://physics2000.com>
- [32] Imatge 1.19, polarizacion_grafico
<http://antenasparatodos.blogspot.com/2008/05/polarizacin.html>
- [33] CNN.com transcripts
<http://transcripts.cnn.com/TRANSCRIPTS/0008/09/kl.00.html>
- [34] IEEE C95.1 - *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz.*, New York, IEEE, 2006
- [35] 1999/519/CE, *Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz)*, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 30.7.1999
- [36] Imatge 2.1, Laakso I., *FDTD Method in assessment of human exposure to base station radiation*, Helsinki University of Technology, Thesis for the Degree of Master of Science in Technology, 2007
- [37] Makhijani A., Ph.D., *The Use of Reference Man in Radiation Protection Standards and Guidance with Recommendations for Change*, Institute for Energy and Environmental Reseach, Maryland, 2008
- [38] Imatge 2.2, ICNIRP-ref-levels
<http://homepage3.nifty.com/tsato/terms/emf.html>
- [39] Recomendación UIT-T K52, *Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos*, UIT, 2005
- [40] Recomendación UIT-T K61, *Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas*, UIT, 2004

- [41] Recommendation UIT-T K70, *Mitigation techniques to limit human exposure to EMFs in the vicinity of radiocommunication stations*, UIT, 2008
- [42] Norma EN 50413:2008 (Ratificada por AENOR en marzo de 2009) *Norma básica para procedimientos de medición y cálculo de la exposición humana a campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0Hz – 300 GHz)*. Brussels, CENELEC, 2008
- [43] Directiva 2004/40/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las *disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos)*
- [44] Directiva 2008/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se modifica la Directiva 2004/40/CE *sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (campos electromagnéticos)*
- [45] Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre, *por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas*, BOE, 29.09.2001
- [46] Orden ITC/749/2010, de 17 de marzo, *por la que se modifica la Orden CTE/23/2002, de 11 de enero*
- [47] Decret 148/2001, de 29 de maig, *d'ordenació ambiental de les instal·lacions de telefonia mòbil i altres instal·lacions de radiocomunicació*, DOGC, 07.06.2001
- [48] Sentencia de la Sala de lo Contencioso-Administrativo del Tribunal Supremo sobre el recurso de casación 1845/2006 de *Anulación parcial del Decreto catalán 148/2001, de 29 de mayo, de ordenación ambiental de las estaciones de telefonía móvil. Competencia exclusiva de la Administración del Estado para fijar restricciones a la exposición a los campos electromagnéticos y distancias de protección*
- [49] Resolución de Salzburgo *sobre las estaciones base de telecomunicaciones de móviles Conferencia Internacional sobre la ubicación de antenas para móviles Ciencia Aplicada y Salud Pública*, Salzburgo, 2.000
- [50] Carpenter D, Sage M.A., et al., *BioInitiative Report, A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields (ELF and RF)*, USA, 2007

- [51] Findlay R. P. & Dimbylow J., *SAR in a voxel model of a 10 year old child for exposure from equipment utilizing Wi-Fi technology*, Health Protection Agency, Chilton, Oxfordshire, OX11 0RQ, UK
- [52] ICNIRP, *Review of the scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological observations, and health consequences concerning exposure to high frequency electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)*, 2009
- [53] CCARS (Comité Científico Asesor sobre Radiofrecuencias y Salud), *Informe sobre Radiofrecuencias y Salud (2009-2010)*
- [54] Swedish Radiation Safety Authority, Statens strålskyddsinstitut, Independent Expert Group on Electromagnetic Fields, *Research 2010:44*
- [55] European Commission, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, Directorate-General for Health & Consumers, *Health Effects of Exposure to EMF, January 2009*
- [56] Schriften des Forschungszentrums Jülich, *Children's health and RF EMF exposure, 2009*
- [57] Assemblea Parlamentària del Consell d'Europa. *Resolució del Comitè Permanent 1815*, del 27 de maig de 2011
- [58] Nota de Premsa número 208, de 31 de maig de 2011, de l'agència de l'Organització Mundial de la Salut IARC
- [59] Aspire one Series, Service Guide
<http://tim.id.au/laptops/acer/aspire%20one.pdf>
- [60] Rosu I., YO3DAC / VA3IUL, *PIFA Planar Inverted F Antenna*
<http://www.qsl.net/va3iul/>
- [61] Bahillo A., Blas J., Mazuelas S., Fernanadez Patricia, Lorenzo R. M. and Abril E. J. *Perturbations of the EM-field Meters Reading Caused by Flat Roof Security Wall*, International Journal of Signal Processing 4;4 © www.waset.org Fall 2008.
- [62] Peyman A, *Evaluation of Exposure of School Children to Electromagnetic Fields from Wireless Computer Networks (Wi-Fi): Phase 1 Laboratory Measurements*, Physical Dosimetry Department, Health Protection Agency, Chilton, Didcot OX11 0RQ, UK.
- [63] Universidad Politécnica de Madrid, *Redes de Área Local Inalámbricas WLAN*
<http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Presentaciones/WLAN-07.pdf>

[64] Kathrein
<http://www.kathrein-scala.com/>

[65] COITT
<http://www.coitt.es/res/openlegislacion/Niveles%20de%20Decision.pdf>



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ANNEXOS

TÍTOL DEL TFC: Procediment per mesurar camps electromagnètics en ambients docents.

TITULACIÓ: Enginyeria Tècnica de Telecomunicació, especialitat Sistemes de Telecomunicació

AUTOR: Juan Manuel Cadena Martin

DIRECTOR: Jordi Berenguer i Sau

DATA: 25 de juliol de 2011

ANNEX 1 TERMES CLAU AMB DEFINICIÓ CORRECTA

A continuació, es defineixen alguns termes clau, pel que fa a aquest treball.

- **Antena:**
Estructura mecànica d'un material conductor, utilitzada per a la captació o la radiació eficient d'ones electromagnètiques.
- **Camp:**
Magnitud física mesurable que pren un valor concret en cada punt d'una regió de l'espai, en cada instant de temps.
- **Camp elèctric:**
Camp vectorial definit per la força que experimenta una càrrega elèctrica de valor unitari en repòs. S'expressa segons el sistema internacional en volts/metre, també es pot expressar en newtons/coulomb.
- **Camp electromagnètic:**
Camp vectorial constituït per un camp elèctric i un camp magnètic interrelacionats mútuament que varien amb el pas del temps.
- **Camp impertorbable:**
Camp que existeix en absència d'objectes o persones que puguin influenciar-lo.
- **Camp magnètic:**
Camp vectorial definit per la força amb que interaccionen dos corrents elèctrics paral·lels.
- **Decibel:**
Unitat de mesura de la relació entre dues potències en escala logarítmica. És igual a 10 vegades el logaritme decimal del quocient entre les dues potències.
- **Diagrama de radiació:**
El diagrama de radiació d'una antena és la representació gràfica de com radia l'antena cap a les diferents direccions de l'espai, a una distància determinada.
- **Directivitat d'una antena:**
Paràmetre que mesura la capacitat d'una antena de concentrar la seva radiació en una direcció determinada (**direcció de màxima radiació**). Es defineix com la relació, expressada en decibels (dB), entre la densitat de potència radiada per l'antena en una direcció determinada i la que radiaria en la mateixa direcció si la potència fos distribuïda per igual en totes les direccions de l'espai. Una antena isòtropa és la que té una directivitat de 0 dB cap a totes direccions.

- **DHCP**
Protocol de xarxa IP que permet als seus clients obtenir els paràmetres de configuració automàticament. El servidor DHCP té una sèrie de direccions IP que assigna dinàmicament als seus diferents clients segons aquestes queden lliures.
- **Eduroam**
La paraula eduroam és la contracció d'education roaming. És un servei mundial de mobilitat segura desenvolupat per a la comunitat acadèmica i de recerca. Aquest servei permet a estudiants, investigadors i personal de les institucions participants connectivitat d'Internet al seu propi campus i a d'altres institucions participants.
- **Ethernet**
Estàndard de xarxa de computadors d'àrea local amb fils, amb accés al medi a través del protocol CSMA/CD.
- **Estimació de la incertesa en la mesura**
Donada una llista de possibles fonts d'errors, la incertesa és una estimació dels errors combinats amb la seva distribució de probabilitats.
- **Impedància a l'espai lliure:**
Paràmetre característic de l'espai que es defineix com l'arrel quadrada de la relació entre la permeabilitat i la permitivitat.
- **Mitjana en el temps:**
És el període de temps adequat per obtenir el valor mitjà de l'exposició a camps electromagnètics per determinar el compliment dels límits normatius.
- **Permeabilitat magnètica**
Propietat dels medis materials que modifica l'acció dels pols o masses magnètiques, així com la inducció magnètica B, que resulta quan el medi és sotmès a una intensitat de camp magnètic H.

Es representa per μ i intervé en les relacions del magnetisme ($f = \mu(m \cdot m'/r^2)$) i de l'electromagnetisme ($B = \mu H$), on f és la força, m i m' les masses magnètiques i r la distància entre elles.

La permeabilitat magnètica és anomenada també permeabilitat absoluta per tal de diferenciar-la de la permeabilitat relativa μ_r , que és la relació entre l'absoluta i la del buit μ_0 , així $\mu_0 = 1,256 \times 10^{-6}$ H/m.

- **Permitivitat**
Constant que expressa la influència d'un medi isòtrop sobre les forces d'atracció o de repulsió entre cossos electritzats.

Cal distingir entre permitivitat absoluta i relativa. La permitivitat absoluta és el quocient entre la inducció elèctrica o desplaçament D i la intensitat de camp elèctric E; es representa per ϵ_a , així $\epsilon_a = D/E$.

La permitivitat del buit val $\epsilon_0 = 8,859 \times 10^{-12}$ F/m. La permitivitat relativa és la relació entre l'absoluta i la del buit, $\epsilon_r = \epsilon_a / \epsilon_0$. La permitivitat és anomenada també constant dielèctrica.

- **Potència Isòtropa Radiada Equivalent**

Paràmetre característic d'un sistema emissor definit com la potència que hauria de tenir un transmissor connectat a una antena isòtropa per a produir la mateixa densitat de potència en el punt de màxima radiació que el sistema caracteritzat. Es pot calcular com el producte de la directivitat màxima per la potència total radiada per l'antena.

- **Sonda triaxial lineal:**

Conjunt de tres sensors disposats de forma ortogonal entre ells i amb una resposta plana en el rang de freqüències per al que ha estat dissenyada. Aquest tipus de sonda mesura intensitat de camp elèctric o intensitat de camp magnètic, segons el seu disseny.

- **Valors límits:**

Límits legals a l'exposició a camps electromagnètics derivats de la Recomanació del Consell Europeu de 12 de juliol de 1999 relatiu a l'exposició del públic en general a camps electromagnètics (0 Hz a 300 GHz) (1999/519/CE).

- **Vòxel**

Cadascuna de les fraccions mínimes en què resulta dividida una imatge tridimensional en sotmetre-la a un escombratge electrònic.

- **Zona en camp llunyà (Fraunhofer)**

Zona on la distribució angular del camp d'una antena és independent de la distància respecte de l'antena. En aquesta zona el camp és predominantment del tipus d'ona localment plana, es a dir, la intensitat de camp elèctric i la intensitat de camp magnètic són uniformes en plans transversals a la direcció de propagació.

Fonts consultades

Diccionari de Telecomunicacions, Universitat Politècnica de Catalunya, TERMCAT, Enciclopèdia Catalana, 2007.

Graf Rudolf F., *Diccionario de electrónica*, Ediciones Piràmide, S.A., Madrid (1988).

Institut d'Estudis Catalans, Diccionari de la Llengua Catalana. Segona edició, <http://dlc.iec.cat/>

TERMCAT-Cercaterm, <http://www.termcat.cat/ca/Cercaterm/Fitxes/>

ANNEX 2 ACRÒNIMS I SIMBOLS

A		
	ACK	Acknowledge
	AENOR	Associació Espanyola de Normalització i Certificació
	A/m	Ampers/metre
B		
	B	Densitat de flux magnètic, (T)
	BOE	Boletín Oficial del Estado
C		
	°C	Temperatura en graus Celsius
	CCA	Clear Channel Assessment
	CCARS	Comité Científico Asesor sobre Radiofrecuencias y Salud
	CENELEC	Comitè Europeu per a l'Estandardització Electrotècnica
	CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
	CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance
	CTS	Clear To Send
D		
	dB	Decibel
	DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
	DOGC	Diari oficial de la Generalitat de Catalunya
	DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
E		
	E	Intensitat de camp elèctric, (V/m)
	ϵ_0	Permitivitat elèctrica en el buit, (F/m)
	EMC	Compatibilitat electromagnètica
	ESS	Extended Service Set
	ETSI	European Telecommunications Standards Institute
F		
	FA	Factor d'antena, (m^{-1})
	FDTD	Finite Difference Time Domain
	FHSS	Frequency Hopped Spread Spectrum
	FSK	Frequency Shift Keying
H		
	H	Intensitat de camp magnètic, (A/m)
	Hz	Hertz
I		
	IARC	International Agency for Research on Cancer
	IBSS	Independent Basic Service Set
	IC	Corrent de contacte, (A)
	ICM	Banda de Freqüències per aplicacions Industrials, Científiques o Mèdiques
	ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
	ICRP	International Commission on Radiological Protection
	IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
	IES	Institut d'Educació Secundària
	IL	Intensitat de corrent fluint per les extremitats, (A)

J	<i>IP</i>	Internet Protocol
	<i>J</i>	Densitat de corrent, (A/m^2)
L	λ	Longitud d'ona, (m)
	<i>LAN</i>	Local Area Network
M	μ_0	Permeabilitat magnètica en el buit, (H/m)
	μT	microTesles
	<i>MAC</i>	Medium Access Control
	<i>MIMO</i>	Multiple Input Multiple Output
N	<i>NAV</i>	Network Allocation Vector
O	<i>OFDM</i>	Orthogonal frequency division multiplexing
	<i>OMS</i>	Organització Mundial de la Salut
P	<i>PIFA</i>	Planar Inverted F Antenna
	<i>PIRE</i>	Potència Isòtropa Radiada Equivalent, (W)
	<i>PoE</i>	Power over Ethernet
R	<i>R</i>	distància, (m)
	<i>RMS</i>	Root mean square
	<i>RTS</i>	Request to send
S	<i>S</i>	Densitat de potència, (W/m^2)
	<i>SA</i>	Absorció d'energia específica, (J/Kg)
	<i>SAR</i>	Taxa d'absorció específica d'energia, (W/Kg)
	<i>SISO</i>	Single Input Single output
	<i>SNR</i>	Relació senyal a soroll, (dB)
T	<i>TCP</i>	Transfer Code Protocol
	<i>TIC</i>	Tecnologies de la informació i de la comunicació
	<i>TFC</i>	Treball de Fi de Carrera
U	<i>UDP</i>	User Datagram Protocol
	<i>UIT</i>	Unió Internacional de Telecomunicacions
V	<i>V/m</i>	Volts/metre
W	<i>Wi-Fi</i>	Wireless Fidelity
	W/m^2	Watts/metres quadrats

ANNEX 3 MESURES REALS EN UNA ESCOLA

S'han pres mesures d'exposició a camps electromagnètics a l'Institut d'Educació Secundària (IES) Mediterrània, situat a la carretera de La Sentiu s/n, a Castelldefels (Baix Llobregat), seguint el procediment descrit en el Capítol 3 del present TFC.

A3.1. Fase prèvia a la presa de mesures

Es consulta la Memòria Tècnica de la instal·lació de la xarxa docent Heura.

La instal·lació de la xarxa educat1x1 no disposa de Memòria Tècnica, tot i que s'han aconseguit algunes dades de les configuracions dels punts d'accés.

L'IES Mediterrània consta de tres plantes: planta baixa, planta principal i planta primera.

Actualment hi ha instal·lats 39 punts d'accés Wi-Fi en total, que pertanyen a dues xarxes diferents:

- Xarxa educat1x1.
- Xarxa docent formada per la mateixa xarxa docent, la xarxa Eduroam i la xarxa Allied.

Nou d'aquests punts d'accés pertanyen a la xarxa docent, són de la marca Allied Telesyn, Inc, model AT-WA7400, el full de dades tècniques s'adjunta a l'apartat A3.6 d'aquest annex.

La resta de punts d'accés (30) pertanyen a la xarxa educat1x1, són de la marca D-Link, model DWL 3500AP, el full de dades tècniques s'adjunta a l'apartat A3.6 d'aquest annex.

Cada punt d'accés s'ha instal·lat en el punt més alt possible de la corresponent paret, quedant tancat dins una caixa amb frontal transparent a la vista i fabricat d'un material que no atenua les radiofreqüències.

A la planta principal hi ha instal·lats 4 punts d'accés de la xarxa docent, marcats en blau en la Fig. A3.1, a més de 16 punts d'accés de la xarxa educat1x1, marcats en vermell en la mateixa figura.

A la planta primera hi ha instal·lats 2 punts d'accés de la xarxa docent, marcats en blau en la Fig. A3.2, a més de 14 punts d'accés de la xarxa educat1x1, marcats en vermell en la mateixa figura.

A la planta baixa hi ha instal·lats 3 punts d'accés de la xarxa docent, marcats en blau a la Fig. A3.3.

A cada aula hi ha un ordinador connectat a la xarxa docent cablada i a una pissarra electrònica.

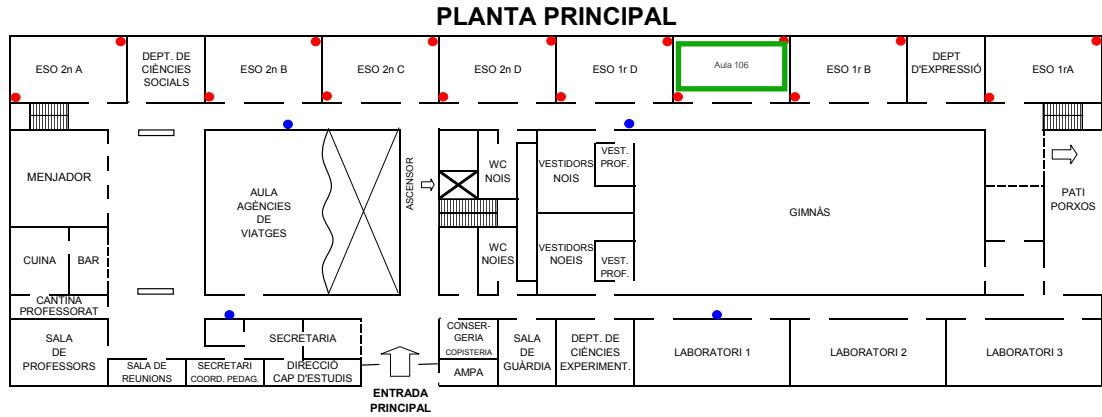


Fig. A3.1 Esquema de la planta principal

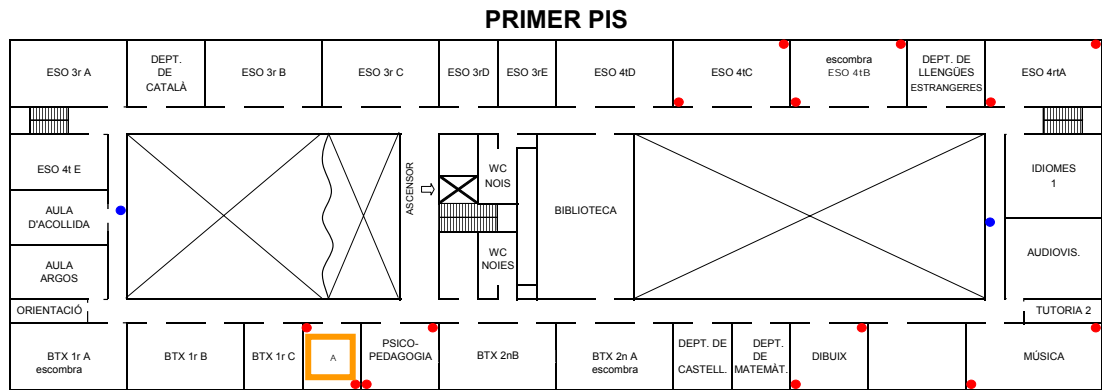


Fig. A3.2 Esquema de la planta primera

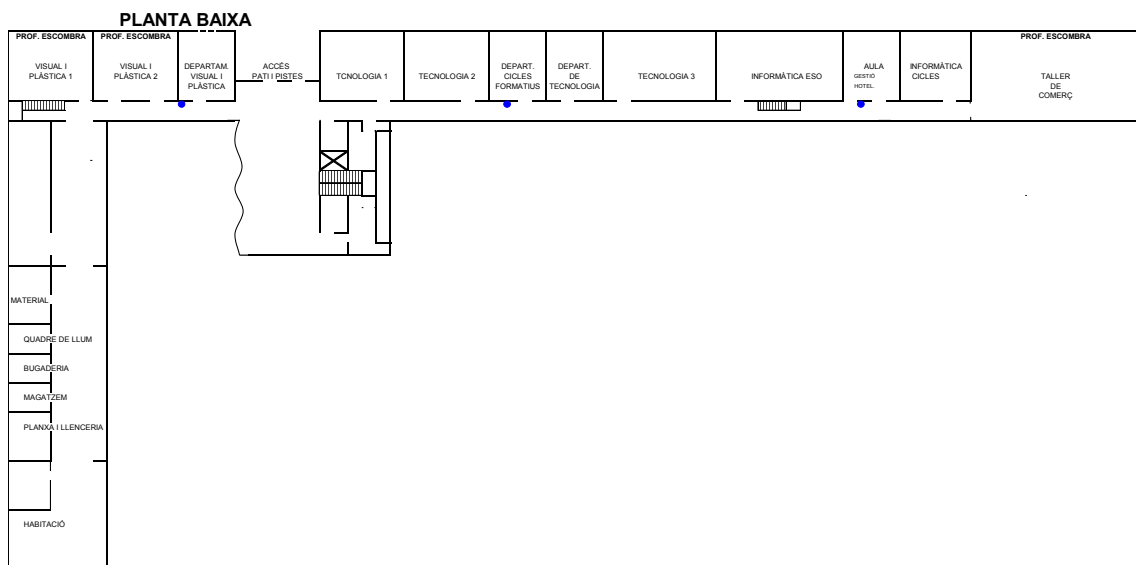


Fig. A3.3 Esquema de la planta baixa

El 12 de maig de 2011, es va realitzar una visita a l'IES Mediterrània per avaluar la forma d'implementar el procediment de mesura desenvolupat al Capítol 3 d'aquest TFC, comprovar el nombre de punts d'accés, triar l'aula on prendre les mesures, mesurar el nombre de punts d'accés que donen cobertura a l'aula amb el programari detector de xarxes 802.11, marca i model d'aquests punts d'accés i el tipus de variant 802.11 instal·lada.

La xarxa educat1x1 és Ethernet, i els sistemes operatius utilitzats són Windows.

Es va triar l'aula 106 per prendre les mesures, atès que hi ha aules amb punts d'accés a cada costat i al pis de dalt, tal com es mostra marcada en verd a la Fig. A3.1.

En aquesta aula es va prendre una mesura amb un ordinador que disposava d'un programari detector de xarxes 802.11 i un mini adaptador USB wireless N dualband, de la marca D-Link, model DWA-160, capaç de suportar els estàndards 802.11 a, b, g i n. Es van obtenir els següents resultats:

- El nombre de punts d'accés rebuts a l'aula, amb una SNR ≥ 15 dB, són 21, 13 de la xarxa educat1x1 i 8 de la xarxa docent.
- Els canals utilitzats són 1, 6 i 11, tant per a la xarxa 1x1 com per a la xarxa docent en DSSS i un canal 52 en FHSS/OFDM per a la xarxa docent.
- La variant de l'estàndard implementat és 802.11g.
- La SNR dels nivells rebuts es poden deduir de la Fig. A3.5. S'ha de tenir en compte que per a una SNR ≤ 15 dB, la connexió és molt lenta i amb una SNR ≤ 10 dB, la comunicació esdevé impossible.

Els punts d'accés de la xarxa docent tenen una potència de transmissió màxima de 63 mW, treballen en diversitat d'espai en recepció i transmissió, les antenes són omnidireccionals, amb un guany de 2 dBi cadascuna, per tant la PIRE màxima a la direcció de màxima radiació és de 20 dBm (100 mW). L'amplada del lòbul vertical a -3 dB és de 45°.



Fig A3.4 Aula 106

MAC	SSID	Name	Chan	Speed	Vendor	Type	Enc.	SNR	S.	Noise	SNR+	IP Addr	Subnet	Link
1CAFF72FC988	educat1x1		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-47		-100	53			
1CAFF72FB968	educat1x1		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-57		-100	43			
1CAFF72FC978	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-59		-100	42		P 192.168.168.0...	
1CAFF72F9C78	educat		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-62		-100	38			
00157796A2BC	allied		52	54 Mbps	(Fake)	AP		-63		-100	37			
000C48F6EA1A	eduroam		11	54 Mbps		AP	WEP	-64		-100	36			
000C48F6EA19	docent		11	54 Mbps		AP	WEP	-64		-100	36			
1CAFF72FC888	educat1x1		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-65		-100	35			
1CAFF72FC950	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-67		-100	33			
1CAFF72FC908	educat1x1		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-70		-100	30			
1CAFF72FC7C0	educat1x1		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-71		-100	29			
1CAFF72FC8C0	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-73		-100	27			
1CAFF72FC770	educat1x1		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-75		-100	25			
1CAFF72FC4D0	educat1x1		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-76		-100	24			
1CAFF72FBCED0	educat1x1		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-78		-100	22			
000C48F6E9DA	eduroam		6	54 Mbps		AP	WEP	-78		-100	22			
00157796A2CD	allied		6	54 Mbps	(Fake)	AP		-79		-100	21			
000C48F6E9D9	docent		6	54 Mbps		AP	WEP	-79		-100	21			
000C48F6E9EA	eduroam		1	54 Mbps		AP	WEP	-80		-100	20			
000C48F6E9E9	docent		1	54 Mbps		AP	WEP	-81		-100	19			
1CAFF72FBC58	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-83		-100	17			
1CAFF72F9268	educat		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-85		-100	15			
1CAFF72FC970	educat1x1		6	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-85		-100	15			
1CAFF72FC818	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-86		-100	14			
1CAFF72FBCD0	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-88		-100	12			
1CAFF72FBC48	educat1x1		1	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-89		-100	11			
0019DB002E69	AceWiFi/reelessGateway-A209		11	54 Mbps	(Fake)	AP		-89		-100	11			
1CAFF72FBC40	educat1x1		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-89		-100	11			
1CAFF72FBC98	educat1x1		11	54 Mbps	(Fake)	AP	WEP	-90		-100	10			

Fig A3.5 Mesura amb un ordinador amb un programari detector de xarxes 802.11 a l'aula 106.

La potència de sortida dels punts d'accés de la xarxa educat1x1 ha estat reduïda a una PIRE màxima de 38 mW, treballen en diversitat d'espai en recepció i transmissió, disposen de DHCP i poden controlar fins a 30 adreces IP cadascun d'ells, les antenes són omnidireccionals amb un guany de 5 dBi.

A l'aula 106 hi ha pupitres per a 30 alumnes.

La xarxa educat1x1 resta configurada en format ESS (itinerant).

Atès que la longitud de les antenes dels punts d'accés de la xarxa educat1x1 es de 197 mm, s'estableix la regió en camp llunyà d'un punt d'accés a una distància de $R > \frac{2D^2}{\lambda} = 0,62$ metres.

Ha quedat establert al Capítol 3 del present TFC que la regió en camp llunyà d'un ordinador portàtil està a una distància $R > 1,56$ cm.

Atès que la connexió cablada de la xarxa docent no te comunicació amb la xarxa educat1x1, es va triar l'aula 214 marcada en taronja en la Fig. A3.2 per prendre les mesures a través d'un punt d'accés d'aquesta aula. Així, els punts d'accés de l'aula 106, transmetran al mateix temps que l'ordinador que envia dades des de l'aula 214, amb aquesta distància no s'interferiran entre si i al mateix temps, no s'enganya als mesuradors de camps electromagnètics.

A3.2. Relació d'aparells per prendre les mesures

Per prendre les mesures s'ha utilitzat el següent instrumental:

- (*) Mesurador en banda ampla de camps electromagnètics de la marca Wavecontrol, model SMP i núm. de sèrie 11SM0048, amb sonda en camp elèctric de la marca Wavecontrol, model WPF 8 i núm. de sèrie 11WP040007, la seva banda de treball va entre 100 kHz i 8 GHz, anomenat en aquest TFC com MBA1.
- (*) Mesurador en banda ampla de camps electromagnètics EMR 300 de la marca Narda i núm. de sèrie AI0006, amb sonda en camp elèctric de la marca Narda, del tipus 8.2 i núm. de sèrie X0006, la seva banda de treball va entre 100 kHz i 3 GHz, anomenat en aquest TFC com MBA2.
- (*) Mesurador en banda ampla de camps electromagnètics EMR 300 de la marca Narda i núm. de sèrie AS0123, amb sonda en camp elèctric de la marca Narda, del tipus 18 i núm. de sèrie M0002, la seva banda de treball va entre 100 kHz i 3 GHz, anomenat en aquest TFC com MBA3.
- (*) Mesurador en banda ampla de camps electromagnètics EMR 300 de la marca Narda i núm. de sèrie Z0049, amb sonda en camp elèctric de la marca Narda, del tipus 9.2 i núm. de sèrie L0039, la seva banda de treball va entre 10 MHz i 18 GHz, anomenat en aquest TFC com MBA4.
- Mesurador de distàncies òptic de la marca Bosch, model PLR25 i una cinta mètrica.
- 5 Trípodcs de fusta.
- 1 càmera de fotos.
- Ordinador portàtil de la marca Packard Bell, model ALP-Ajax GN, amb els estàndards de connexió Wi-Fi 802.11/a, b, g, anomenat en aquest TFC com O1.
- Ordinador portàtil de la marca Acer, model Aspire S920, amb els estàndards de connexió Wi-Fi 802.11/a, b, g, anomenat en aquest TFC com O2.
- Ordinador portàtil de la marca Toshiba, model Tecra A10-11I, amb els estàndards de connexió Wi-Fi 802.11/a, b, g, anomenat en aquest TFC com O3.
- Ordinador portàtil de la marca Toshiba, model Tecra R10-10P amb els estàndards de connexió Wi-Fi 802.11/a, b, g, anomenat en aquest TFC com O4.

- Ordinador portàtil de la marca HP Compaq, model NX6325, amb els estàndards de connexió Wi-Fi 802.11/a, b, g, anomenat en aquest TFC com O5.
- Programari per a fer proves de càrrega de xarxes informàtiques jperf.
- Programari per a detectar xarxes 802.11 NetStumbler.
- (*) Antena logoperiòdica de la marca Rohde & Schwarz, model HL025 i núm. de sèrie 360407, la seva banda de treball va entre 1 GHz i 24 GHz.
- (*) Línia de transmissió de la marca Huber+Suhner, model Sucoflex 104G, de 10 metres de longitud, amb connectors coaxials de la mateixa marca del tipus SMA.
- (*) Adaptador coaxial SMA femella a N mascle, de la marca Huber+Suhner.
- Analitzador d'espectres i vectorial de la marca Anritsu model MS2024A i núm. de sèrie 1048087, amb l'opció 25. El conjunt format per l'antena HL025, el cable Sucoflex 104G, l'adaptador coaxial SMA femella a N mascle i aquest analitzador d'espectres s'anomena en aquest TFC com AE1.
- Mini adaptador USB wireless N dualband, de la marca D-Link, model DWA-160 que suporta els estàndards 802.11 n, g, a, i b.

Tot l'equipament marcat amb (*) disposa de certificat de calibració.

A3.3. Presa de mesures

Les mesures es van prendre el 8 de juny de 2011, entre les 16:30 i les 19:30 hores, fora de l'horari lectiu.

Entre les 15:40 i les 16:30 els ordinadors utilitzats per prendre les mesures van restar engegats per tal de minimitzar variacions en la seva potència de sortida durant el temps d'amidament.

Es van comprovar les adreces IP de cada ordinador:

- O1 = 192.168.172.93
- O2 = 192.168.172.166
- O3 = 192.168.172.82
- O4 = 192.168.172.167
- O5 = 192.168.171.193

Per a la presa de mesures de l'exposició procedent dels ordinadors i dels punts d'accés, es van utilitzar 4 mesuradors en banda ampla al mateix temps, amb l'objectiu de reduir al màxim el temps total de presa de mesures.

Per fer proves de mesura en banda estreta i complementar les mesures, es va utilitzar el conjunt mesurador AE1 en banda estreta.

Segons el nombre de canals utilitzats en la xarxa educat1x1 a l'escola, la quantitat d'ordinadors que poden transmetre en el mateix instant, dintre de la mateixa aula són 3, atès que s'utilitzen els canals 1, 6 i 11.

Tot i això, es van fer servir 5 ordinadors, 4 a l'aula 106 disposats en pupitres contigus per a cada columna d'aquests i un a l'aula 214, que es va utilitzar connectat via Wi-Fi a un punt d'accés d'aquesta aula.

La posició de l'ordinador ubicat a l'aula 214 es indiferent atès el propòsit de les mesures.

Durant el temps de mesura es van apagar els telèfons mòbils.

S'ha tingut una cura especial per mantenir la configuració de la posició dels ordinadors i dels mesuradors en cada bloc de mesures.

Atenent als nivells tan baixos esperats i a que les antenes dels punts d'accés estan en polarització vertical, s'ha decidit prendre les mesures amb l'equipament AE1 només en polarització vertical, menyspreant els valors aportats per la polarització horitzontal que es valoren en -20 dB respecte de la polarització vertical.

El conjunt mesurador AE1 es va configurar en MAX HOLD per a les mesures en mode analitzador d'espectres. En el mode Channel Scanner la configuració va ser la de l'equip per defecte.

Dels amidaments obtinguts amb l'equipament AE1, s'han pres les gràfiques amb valors més alts de cada punt de mesura i s'ha calculat el nivell de camp elèctric, per tal de comparar-los amb els màxims mesurats pels mesuradors en banda ampla.

El diàmetre màxim de les sondes dels mesuradors MAB és de 75 mm., s'estableix el camp llunyà d'aquests equips a la freqüència de 2400 MHz. com

$$a \quad R > \frac{2D^2}{\lambda} = 9 \text{ cm.}$$

La longitud màxima d'un possible dipol de l'antena HL025 és de 152 mm., s'estableix el camp llunyà a la freqüència de 2400 MHz. com a $R > \frac{2D^2}{\lambda} = 37$

cm.



Fig A3.6 Disposició dels pupitres i dels punts d'accés a l'aula 106.

A3.4. Relació de mesures preses

En els quadres de nivells obtinguts en cada punt, s'han marcat en blau les lectures de nivells que estaven per sota del rang de mesures de cada sonda.

A3.4.1 Presa de mesures sense enviar dades

Atès que s'espera mesurar nivells molt baixos, els nivells amidats s'hauran de comparar amb els nivells mínims del rang de mesura de cada mesurador.

Es va recórrer amb el mesurador MBA1 l'entorn de l'aula 106, sense que els punts d'accés rebessin o enviessin dades, es van prendre mesures instantànies a fi d'identificar els punts de màxima exposició a diferents altures respecte del terra, els valors amidats van ser pràcticament 0 V/m a tota l'aula, per tant es va decidir estimar com a punts significatius per prendre les mesures al costat dels pupitres mes propers als punts d'accés, així es van estimar les 4 cantonades de l'aula, es van disposar els mesuradors a una altura de 1,17 metres, altura aproximada del cap dels nens asseguts.

Es van complementar les mesures amb el conjunt mesurador AE1, es va ubicar l'antena a una altura d'1,28 metres en un extrem de l'aula tal com es mostra a la Fig. A3.8.


Una vegada instal·lats els mesuradors en aquests punts, es van realitzar mesures sense enviar dades, durant un període de sis minuts. Fig. A3.8.


Es van prendre fotografies dels punts de mesura, es van anotar els valors obtinguts amitjanats en 6 minuts i màxims i les hores d'inici i final de les mesures.


Aquestes mesures s'utilitzaran per comparar-les amb els valors obtinguts enviant dades des del punt d'accés a un ordinador i des dels 4 ordinadors al punt d'accés.


A3.4.1.1 Relació dels amidaments segons la Fig. A3.8


<i>Amidaments al punt 1</i>	
Equipament utilitzat	MBA1
Rang de mesura	0,25-120 V/m
Altura de la sonda	1,17 metres
Distància a la font més propera	2,03 metres
Hora d'inici	16:49 h.
Hora final	16:55 h
Valor amitjanat en 6 minuts	0 V/m
Valor màxim del període	0,29 V/m



Amidaments al punt 2		
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,6-800 V/m	
Altura de la sonda	1,17 metres	
Distància a la font més propera	4,8 metres	
Hora d'inici	16:49 h.	
Hora final	16:55 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,18 V/m	
Valor màxim del període	0,40 V/m	

Amidaments al punt 3		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	1,17 metres	
Distància a la font més propera	2,15 metres	
Hora d'inici	16:49 h.	
Hora final	16:55 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,2 V/m	
Valor màxim del període	0,34 V/m	

Amidaments al punt 4		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,17 metres	
Distància a la font més propera	4,9 metres	
Hora d'inici	16:49 h.	
Hora final	16:55 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,26 V/m	
Valor màxim del període	0,55 V/m	

Amidaments al punt 5		
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1,28 metres	
Distància a la font més propera	2,4 metres	
Hora d'inici	16:49 h.	
Hora final	16:55 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	Fig. A3.7	

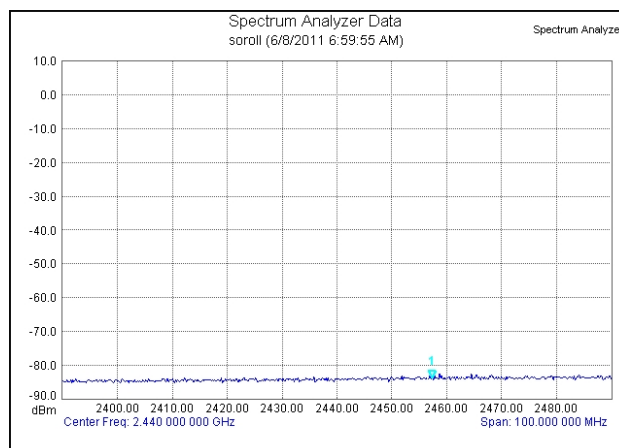


Fig. A3.7 Amidament amb l'equipament AE1 al punt de mesura 5.



Fig A3.8 Identificació dels punts de mesures preses a l'aula 106 sense enviar dades.

A3.4.2 Presa de mesures amb els punts d'accés transmetent

Es va obrir i configurar el programari jperf en mode servidor a l'ordinador O1, connectat via Wi-Fi a la xarxa educat1x1 a l'aula 106.

Es va traslladar l'ordinador O5, connectat a la xarxa educat1x1, a l'aula 214, identificada en taronja a la Fig. A3.2. Es va obrir el programari jperf i es va configurar com a client.

A tots dos ordinadors es va configurar un temps de transmissió/recepció de 6 minuts. Per tal que la transmissió fos el més continua possible (sense senyalitzacions ACK), es va configurar una transmissió UDP amb paquets de 1500 Bytes, que és la grandària màxima suportada per les xarxes Ethernet.

Es va executar en tots dos ordinadors el programari jperf.

Es va recórrer amb un mesurador l'entorn de l'aula 106, prenent mesures instantànies per identificar els punts de màxima exposició variant l'altura de la sonda respecte del terra per estimar els més significatius.

Els valors instantanis obtinguts van ser pràcticament 0 V/m a tota l'aula, per tant, es va decidir estimar com a punts significatius per prendre els mesuraments els mateixos punts de l'apartat anterior. Per tal que els nivells fossin més alts, es van disposar els mesuradors a una altura de 2 metres, altura d'una persona alta d'en peus i així mesurar més a prop dels punts d'accés.

Es van complementar les mesures amb el conjunt mesurador AE1, es va ubicar l'antena a una altura d'1,28 metres davant d'un dels punts d'accés i al costat d'un pupitre.

Una vegada instal·lats els mesuradors en aquests punts, es van prendre les mesures amb els punts d'accés transmetent durant un període de 6 minuts. Fig. A3.10.


Es van prendre fotografies dels punts de mesura, es van anotar els valors obtinguts amitjanats en 6 minuts i màxims i les hores d'inici i final de les mesures.


A3.4.2.1 Relació dels amidaments segons la Fig. A3.10


Amidaments al punt 6	
Equipament utilitzat	MBA1
Rang de mesura	0,25-120 V/m
Altura de la sonda	2 metres
Distància a la font més propera	1,3 metres
Hora d'inici	17:20 h.
Hora final	17:26 h
Valor amitjanat en 6 minuts	0 V/m
Valor màxim del període	0,31 V/m



Amidaments al punt 7		Foto no disponible
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	2 metres	
Distància a la font més propera	4,4 metres	
Hora d'inici	17:20 h.	
Hora final	17:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0.12 V/m	
Valor màxim del període	0,41 V/m	

Amidaments al punt 8		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	2 metres	
Distància a la font més propera	1,2 metres	
Hora d'inici	17:20 h.	
Hora final	17:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0.15 V/m	
Valor màxim del període	0,23 V/m	

Amidaments al punt 9		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	2 metres	
Distància a la font més propera	4,6 metres	
Hora d'inici	17:20 h.	
Hora final	17:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0.25 V/m	
Valor màxim del període	0,45 V/m	

Amidaments al punt 10		
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1,28 metres	
Distància a la font més propera	3,2 metres	
Hora d'inici	17:20 h.	
Hora final	17:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	Fig. A3.9	

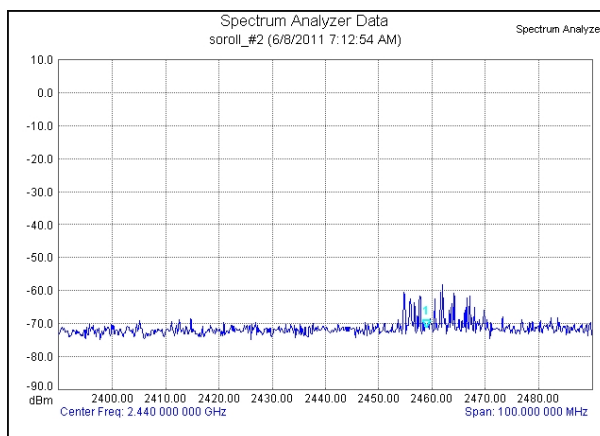


Fig. A3.9 Amidament amb l'equipament AE1 al punt de mesura 10



Fig A3.10 Identificació dels punts de mesures preses a l'aula 106 amb els punts d'accés enviant dades.

A3.4.3 Presa de mesures amb els ordinadors transmetent

Es va configurar l'ordinador O5, connectat via Wi-Fi a l'aula 214, com a servidor. Es van configurar com a client la resta d'ordinadors de l'aula 106. Es va configurar una transmissió/recepció UDP a l'igual que a l'apartat A3.4.2.

Es van ubicar els ordinadors situats a l'aula, tal com s'indica en vermell al croquis de la Fig. A3.11. Aquest conjunt de mesures s'anomena posició 1.

Es va ubicar un mesurador al darrera de cada ordinador, disposats com s'indica al croquis de la Fig. A3.11, de forma que el que s'intenta mesurar és l'exposició que pot rebre un nen assegut en aquesta posició. Amb el mesurador MBA1 es va anar variant l'altura per identificar el punt de màxima exposició de la sonda respecte del terra en aquesta ubicació

Es van disposar tots els mesuradors a la mateixa altura que es va trobar el màxim, altura d'1,17 metres que coincideix aproximadament amb la del cap dels nens asseguts.

Les mesures amb el conjunt mesurador AE1, van ser ubicades a diferents distàncies davant del conjunt d'ordinadors per a cada posició de mesura.

Es va executar el programari jperf a tots els ordinadors.

Es van prendre les mesures amitjanant els resultats en 6 minuts. Es van mesurar i anotar les distàncies des de cada punt de mesura a les fonts emissores. Es van prendre fotografies dels llocs de mesura. Es van anotar les hores d'inici i final de cada mesura i els valors amitjanats i màxims obtinguts.

A causa d'un error, no es disposa de valors de mesures vàlides amb l'equipament AE1 en aquesta posició.

Es van ubicar els ordinadors i els mesuradors amb la mateixa disposició anterior, tal com s'indica en verd al croquis de la Fig. A3.11. Es va seguir el mateix procediment anterior. Aquest conjunt de mesures s'anomena posició 2.

Es van ubicar els ordinadors i els mesuradors amb la mateixa disposició anterior, tal com s'indica en violeta al croquis de la Fig. A3.11. Es va seguir el mateix procediment anterior. Aquest conjunt de mesures s'anomena posició 3.


A causa d'un error, no es disposa de valors de mesures vàlides amb l'equipament AE1 en aquesta posició.


Es van ubicar els ordinadors i els mesuradors amb la mateixa disposició anterior, tal com s'indica en taronja al croquis de la Fig. A3.11. Es va seguir el mateix procediment anterior. Aquest conjunt de mesures s'anomena posició 4.


Es van ubicar els ordinadors i els mesuradors amb la mateixa disposició anterior, tal com s'indica en blau al croquis de la Fig. A3.11. Es va seguir el mateix procediment anterior. Aquest conjunt de mesures s'anomena posició 5.

A3.4.3.1 Relació dels amidaments segons la Fig. A3.11

Posició 1, ubicació dels ordinadors en vermell a la Fig. A3.11

Amidaments al punt 11		
Equipament utilitzat	MBA1	
Rang de mesura	0,25-120 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:40 h.	
Hora final	17:46 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,19 V/m	
Valor màxim del període	0,88 V/m	


Amidaments al punt 12		
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:40 h.	
Hora final	17:46 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,25 V/m	
Valor màxim del període	0,81 V/m	


Amidaments al punt 13		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:40 h.	
Hora final	17:46 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,17 V/m	
Valor màxim del període	0,70 V/m	

Amidaments al punt 14		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:40 h.	
Hora final	17:46 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,43 V/m	
Valor màxim del període	0,78 V/m	

Amidaments al punt 15		Sense dades
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1 metre	
Distància a la font més propera	0.5 metres	
Hora d'inici	17:40 h.	
Hora final	17:46 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	- V/m	

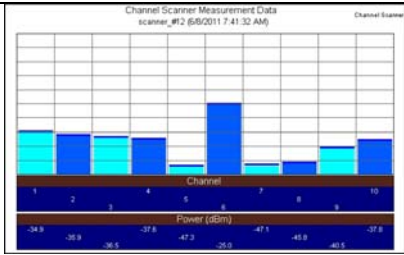
Posició 2, ubicació dels ordinadors en verd a la Fig. A3.11

Amidaments al punt 16		
Equipament utilitzat	MBA1	
Rang de mesura	0,25-120 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:50 h.	
Hora de final	17:56 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,10 V/m	
Valor màxim del període	0,67 V/m	


Amidaments al punt 17		
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:50 h.	
Hora final	17:56 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,40 V/m	
Valor màxim del període	0,90 V/m	


Amidaments al punt 18		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:50 h.	
Hora final	17:56 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,20 V/m	
Valor màxim del període	0,42 V/m	


Amidaments al punt 19		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:50 h.	
Hora final	17:56 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,38 V/m	
Valor màxim del període	0,70 V/m	

Amidaments al punt 20		
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1 metre	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	17:50 h.	
Hora final	17:56 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	2,05 V/m	

Posició 3, ubicació dels ordinadors en violeta a la Fig. A3.11

Amidaments al punt 21		
Equipament utilitzat	MBA1	
Rang de mesura	0,25-120 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:10 h.	
Hora final	18:16 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,03 V/m	
Valor màxim del període	0,64 V/m	


Amidaments al punt 22		
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:10 h.	
Hora final	18:16 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,30 V/m	
Valor màxim del període	0,83 V/m	


Amidaments al punt 23		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:10 h.	
Hora final	18:16 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,52 V/m	
Valor màxim del període	0,70 V/m	

Amidaments al punt 24		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:10 h.	
Hora final	18:16 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,23 V/m	
Valor màxim del període	0,69 V/m	

Amidaments al punt 25		Sense dades
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1,16 metres	
Distància a la font més propera	1 metre	
Hora d'inici	18:10 h.	
Hora final	18:16 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	- V/m	

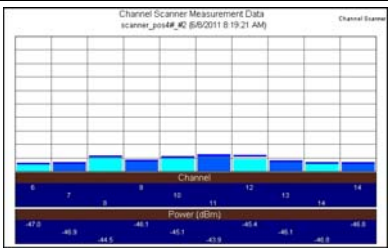
Posició 4, ubicació dels ordinadors en taronja a la Fig. A3.11

Amidaments al punt 26		
Equipament utilitzat	MBA1	
Rang de mesura	0,25-120 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:20 h.	
Hora final	18:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,07 V/m	
Valor màxim del període	0,69 V/m	


Amidaments al punt 27		
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici:	18:20 h.	
Hora final:	18:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,29 V/m	
Valor màxim del període	0,80 V/m	


Amidaments al punt 28		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:20 h.	
Hora final	18:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,37 V/m	
Valor màxim del període	0,65 V/m	


Amidaments al punt 29		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:20 h.	
Hora final	18:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,18 V/m	
Valor màxim del període	0,43 V/m	

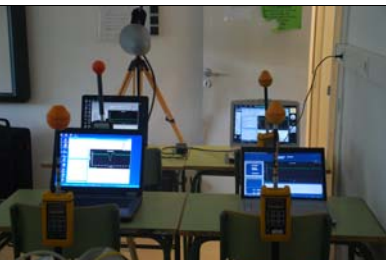
Amidaments al punt 30		
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1.16 metres	
Distància a la font més propera	2,4 metres	
Hora d'inici	18:20 h.	
Hora final	18:26 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	0,69 V/m	

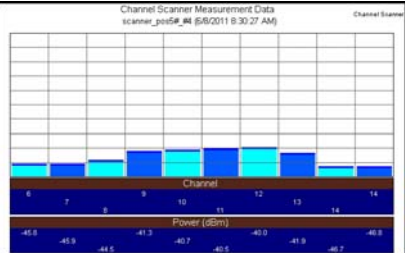
Posició 5, ubicació dels ordinadors en blau a la Fig. A3.11

Amidaments al punt 31		
Equipament utilitzat	MBA1	
Rang de mesura	0,25-120 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:30 h.	
Hora final	18:36 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,07 V/m	
Valor màxim del període	0,69 V/m	

Amidaments al punt 32		
Equipament utilitzat	MBA2	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:30 h.	
Hora final	18:36 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,38 V/m	
Valor màxim del període	0,80 V/m	

Amidaments al punt 33		
Equipament utilitzat	MBA3	
Rang de mesura	0,2-320 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:30 h.	
Hora final	18:36 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,40 V/m	
Valor màxim del període	0,65 V/m	

Amidaments al punt 34		
Equipament utilitzat	MBA4	
Rang de mesura	0,8-1000 V/m	
Altura de la sonda	1,16 metres	
Distància a la font més propera	0,5 metres	
Hora d'inici	18:30 h.	
Hora final	18:36 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	0,20 V/m	
Valor màxim del període	0,89 V/m	

Amidaments al punt 35		
Equipament utilitzat	AE1	
Factor d'antena	34,13 dB/m	
Altura de l'antena	1.16 metres	
Distància a la font més propera	1 metre	
Hora d'inici	18:30 h.	
Hora final	18:36 h	
Valor amitjanat en 6 minuts	- V/m	
Valor màxim del període	0,9 V/m	

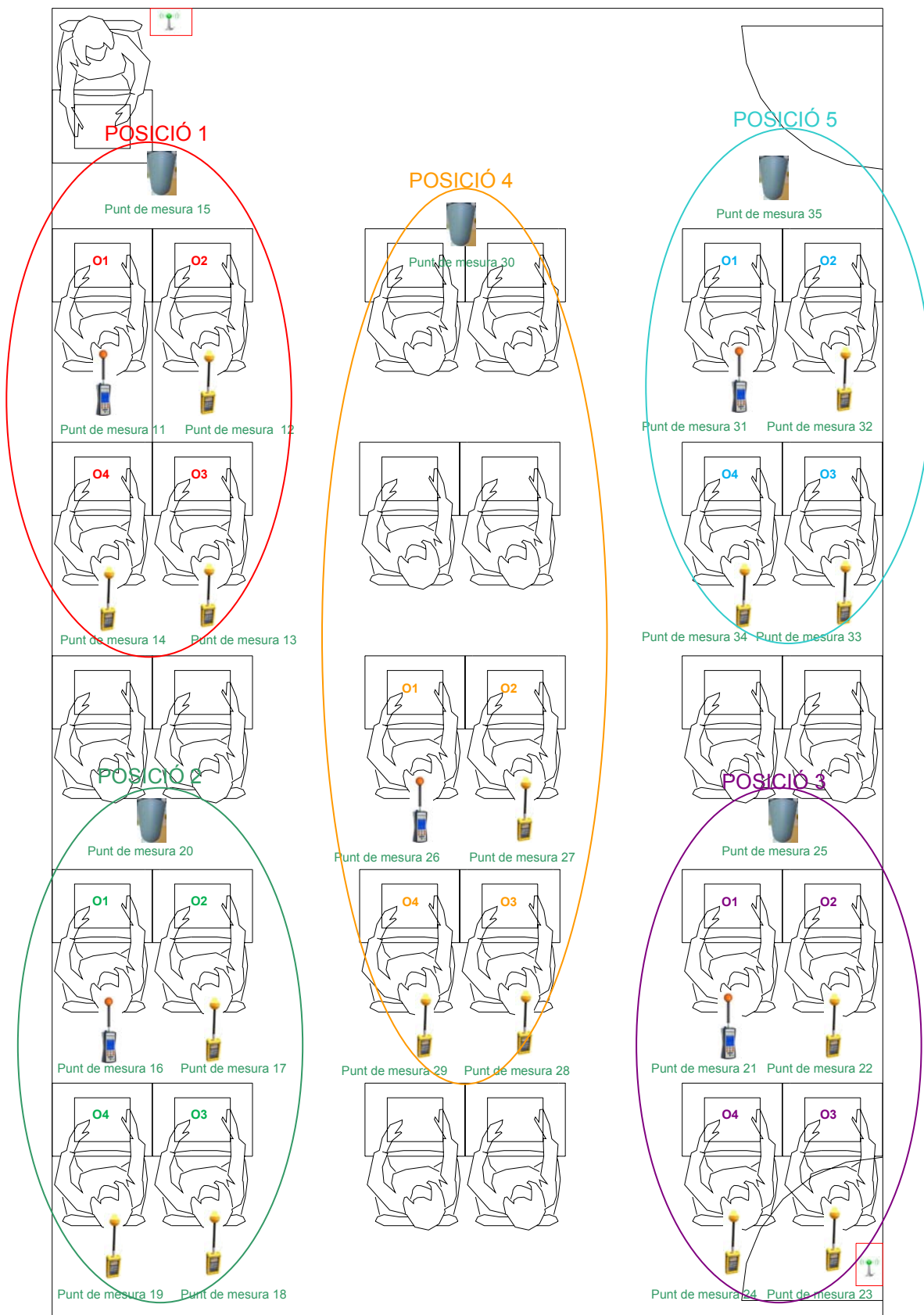


Fig. A3.11 Identificació dels punts de mesures preses a l'aula 106 amb els ordinadors enviant dades.

A3.5. Conclusions dels amidaments obtinguts

Pel que fa als valors dels amidaments obtinguts amb les sondes de banda ampla.

Unitats: V/m	MBA1		MBA2		MBA3		MBA4		AE1
Rang de mesura	0,25-120		0,8-1000		0,2-320		0,8-1000		
Temps de mesura	Amitjanat 6 min	Màx. inst.	Amitjanat 6 min	Màx. inst.	Amitjanat 6 min	Màx. inst.	Amitjanat 6 min	Màx. inst.	
Soroll	Punt de mesura 1		Punt de mesura 2		Punt de mesura 3		Punt de mesura 4		Punt de mesura 5
	0(*)	0,29	0,18(*)	0,4(*)	0,2	0,34	0,26(*)	0,55(*)	0
Punts d'accés	Punt de mesura 6		Punt de mesura 7		Punt de mesura 8		Punt de mesura 9		Punt de mesura 10
	0(*)	0,31	0,12(*)	0,41(*)	0,15(*)	0,33	0,27(*)	0,45(*)	No calculable
Posició 1 en vermell	Punt de mesura 11		Punt de mesura 12		Punt de mesura 13		Punt de mesura 14		Punt de mesura 15
	0,19(*)	0,88	0,25(*)	0,85	0,17(*)	0,7	0,43(*)	0,78(*)	Sense dades
Posició 2 en vert	Punt de mesura 16		Punt de mesura 17		Punt de mesura 18		Punt de mesura 19		Punt de mesura 20
	0,1(*)	0,67	0,4(*)	0,9	0,2	0,42	0,38(*)	0,7(*)	2,05
Posició 3 en violeta	Punt de mesura 21		Punt de mesura 22		Punt de mesura 23		Punt de mesura 24		Punt de mesura 25
	0,03(*)	0,64	0,3(*)	0,83	0,52	0,7	0,23(*)	0,69(*)	Sense dades
Posició 4 en taronja	Punt de mesura 26		Punt de mesura 27		Punt de mesura 28		Punt de mesura 29		Punt de mesura 30
	0,07(*)	0,69	0,29(*)	0,8	0,37	0,65	0,18(*)	0,43(*)	0,68
Posició 5 en blau	Punt de mesura 31		Punt de mesura 32		Punt de mesura 33		Punt de mesura 34		Punt de mesura 35
	0,07(*)	0,69	0,38(*)	0,8	0,4	0,65	0,2(*)	0,59(*)	0,90

Nota: (*)Amidaments per sota del rang de mesura de l'equip utilitzat

Taula. A3.1 Resum dels valors obtinguts.

- La majoria dels valors obtinguts, queden per sota del rang de mesura dels equips utilitzats, el que provoca errors en els valors obtinguts deguts a la no linealitat de les sondes per a aquests valors tan baixos.
- Es consideren tots els amidaments per sota del rang de mesura com a no vàlids.
- La posició del mesurador respecte de les parets té una importància relativa, excepte el cas del mesurador MAB2 en la posició 2 totes les mesures preses al costat de parets o cantonades, són unes centenes de mV/m superiors a les mesures, amb el mateix equip, preses al costat del passadís.
- El valor amitjanat en 6 minuts més alt obtingut, amb equipament de banda ampla, en tots els amidaments ha estat de 0,52 V/m, a una distància de 0,5 m.

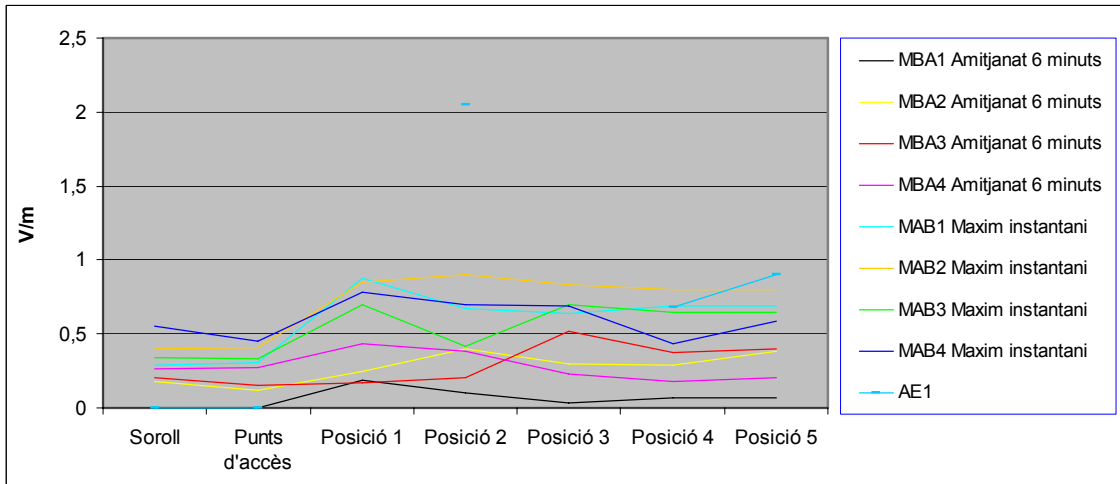


Fig. A3.12 Gràfiques dels valors obtinguts en les mesures.

- El valor instantani més alt obtingut, amb equipament de banda ampla, de tots els amidaments ha estat de 0,9 V/m, a una distància de 0,5 m.
- S'ha calculat la dispersió dels equips en els amidaments amb valors vàlids. La dispersió més alta amb valors amitjanats en 6 minuts, ha estat de 8,3 dB.
- Es realitza la comparació, entre l'exposició del soroll de fons, sense comunicacions a través dels punts d'accés Wi-Fi i l'exposició, amb valors vàlids i amitjanats en 6 minuts amb comunicacions Wi-Fi, el valor més alt obtingut ha estat de 8,3 dB.

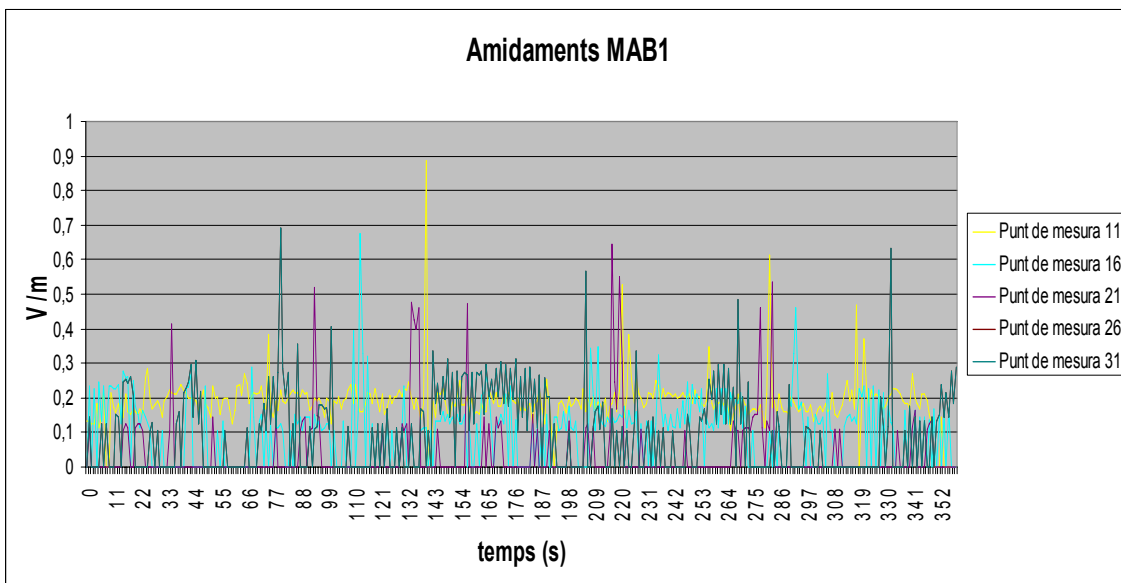


Fig. A3.13 Gràfiques en el temps dels valors obtinguts en les mesures amb un equip de banda ampla i amb els ordinadors transmetent.

- Es pot observar en la gràfica A3.13, les variacions en el temps del nivell de camp mesurat amb un equip de banda ampla i amb els ordinadors transmetent, probablement a causa de temps d'espera de transmissió.

Pel que fa als amidaments obtinguts amb l'equipament AE1.

- El valor de camp elèctric instantani més alt obtingut, amb equipament de banda estreta, de tots els amidaments ha estat de 2,05 V/m, a una distància de 0,5 m.
- Si es comparen els valors de camp elèctric, calculats a partir dels amidaments obtinguts, amb el màxim instantani obtingut amb les sondes de banda ampla, excepte per a la posició 2, que hi ha una desviació, de 6 dB, respecte del nivell més alt obtingut en la mateixa posició, es pot observar que no hi ha una desviació important entre tipus de mesuradors.

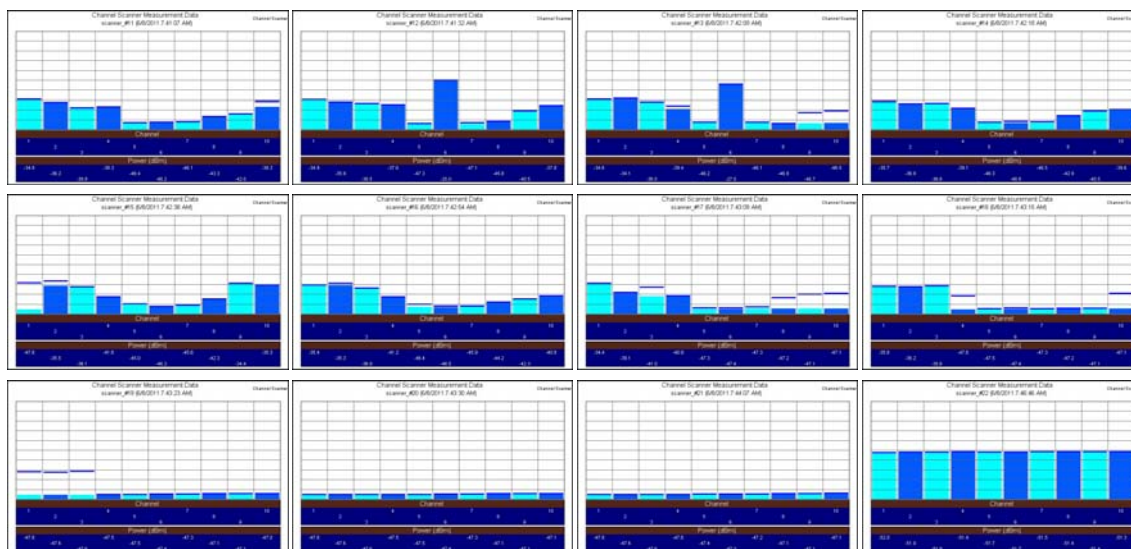


Fig. A3.14 Gràfiques en diferents instants dels valors obtinguts en les mesures amb l'equipament AE1, en el punt de mesura 20 i amb els ordinadors transmetent

- Es pot observar en les gràfiques de la figura A3.14, el mateix tipus de variació que en la figura A3.13.

En aquest cas, no cal realitzar els càlculs indicats a (2.1) i (2.2) per a ambients multifreqüències, atès que només es reben camps de la tecnologia Wi-Fi.

A3.6. Datasheets dels punts d'accés

Datasheet | Wireless LAN

Allied Telesis



AT-WA7400 Dual-radio Enterprise-class Wireless LAN Access Point

AT-WA7400-xx

Dual-radio Enterprise-class Wireless Access Point

Compact, Feature-Rich Design

The AT-WA7400 dual-radio enterprise-class wireless access point includes radios that operate within both 2.4GHz and 5GHz frequency bands. It is fully compliant with IEEE 802.11a, b, g, and n standards and offers superior performance with the latest security features and a suite of advanced management tools.

Advanced Security

The AT-WA7400 is equipped with advanced encryption and authentication capabilities, including: WPA/WPA2, WEP with weak IV avoidance, TKIP, AES/CCMP encryption, MAC address filtering, access control via Radius with EAP and PEAP.

Secure your wireless network by segmenting public and private access with multiple BSSIDs, MAC addresses and VLAN Tagging. Rogue AP detection provides the ability to detect and locate unauthorized access points, thus preventing unauthorized entry to your wireless network.

Advanced WLAN Management Features

The AT-WA7400 supports a wide range of Wireless LAN (WLAN) management functions such as adjustable output power levels, wireless bridging (WDS), automated roaming, remote configuration and software upgrades.

AT-WA7400 offers an advanced load balancing feature, which allows you to balance the distribution of wireless client connections across multiple access points improving performance and bandwidth utilization.

Configuration and administration are automated across a network of AT-WA7400 access points, reducing the need for IT personnel to configure complex meshes.

These features help make your WLAN an integral part of your whole wireless network.

Key Features

- High-performance 54Mbps (IEEE 802.11a/h/g) data rate
- Security support via IEEE 802.11i (WPA2), WPA-PSK, TKIP, AES, IEEE 802.1x, and EAP/802.1
- Multiple BSSID and Virtual LAN (VLANs)
- Inhibit SSID broadcast and ignore SSID scan
- Media Access Control (MAC) for wireless Interface
- Load balancing
- IEEE 802.11e (WMM only)
- Wireless Distribution System (WDS) for wireless bridge and repeater modes support
- AP Clustering
- Rogue AP detection
- Transmit power control/limiting
- Secured AP management
- Power-over-Ethernet capable
- Wi-Fi and WPA certified
- Dynamic frequency selection and transmit power control for IEEE 802.11h compliance
- Healthcare environment ready (EN 60601)

Allied Telesis

www.alliedtelesis.com

ANTENNA TYPE	GAIN (dBi)	ALLIED TELESIS TeraQ ANTENNA MODEL		LOBE WIDTH (°)		POLARIZATION
		2.4GHz	5GHz	Horizontal	Vertical	
OMNI	2	AT-TQ0500		360	45	Vertical
	5		AT-TQ0500	360	30	Vertical
	8	AT-TQ0201E	AT-TQ0501E	360	17	Vertical
	12	AT-TQ0202E	AT-TQ0502E	360	5	Vertical

D-Link®**DWL-3500AP****High-Performance Connectivity**

- + Up to 108Mbps (Turbo Mode)¹
- + Dual Detachable Dipole Antennas Ensure Maximum Coverage
- + Self-Tuning Features to Adjust & Optimize RF Settings
- + Load Balancing Among Neighbor AP

Trusted Security Features

- + 64/128/152-bit WEP Data Encryption
- + WPA/WPA2 Personal
- + WPA/WPA2 Enterprise
- + 802.1x User Authentication
- + 802.1Q VLAN Tagging for Network Segmentation
- + MAC Address Filtering
- + Rogue AP Detection
- + 8 SSID Per Frequency Band

Convenient Installation

- + Solid Die Cast Metal Housing Design for Indoor Deployment
- + 802.3af Power over Ethernet to Facilitate Physical Setup
- + Zero-Configuration Installation
- + Supports Variety of External High-Gain Antennas
- + Locking Brackets Included
- + "Fit" (Stand-Alone) AP: Web-Based Management and CLI
- + "Thin" Managed AP: Via DWS-3024/3026 Unified Wired/Wireless Switch

Quality of Service

- + WMM (Wi-Fi Multimedia)
- + SVP (SpectraLink Voice Priority)

¹ Maximum wireless signal rate 94Mbps based on IEEE standard 802.11g specifications. Actual data throughput will vary. 108Mbps Turbo speed when operating with other D-Link 108G or 108AG products. Network conditions and environmental factors, including volume of network traffic, building materials and construction, and network overhead can lower actual data throughput rate.

Wireless Unified 108G Access Point

The DWL-3500AP Wireless Unified 108G Access Point is a high-performance wireless access device that provides up to 108Mbps transmission rates¹. Versatile and powerful, this device can be flexibly deployed as a stand-alone "fit" wireless access point or as a "thin" managed access point (AP) manageable from a wireless switch. Businesses can start with an intelligent DWL-3500AP that provides many advanced wireless LAN functions, then migrate to a centrally managed system anytime later by integrating the same DWL-3500AP to a D-Link unified wired/wireless switch.

Intelligent "Fit" Access Point

The DWL-3500AP has everything on-board that enables network administrators to set up a secure wireless network and to connect to any Ethernet-compliant switch and router. Advanced wireless functions that the DWL-3500AP supports include: WEP data encryption, WPA/WPA2 security, client MAC address filtering, AP load balancing, DoS/WMM (Wireless Multimedia), and Rogue AP Detection. Security configuration settings can be locally stored in the DWL-3500AP itself. Wireless connections can easily be expanded by adding more DWL-3500AP or other 802.11g compliant APs to the site. Businesses without complicated network requirements can use the DWL-3500AP to get a wireless network set up and run without the need for any additional special hardware.

"Thin" AP Centrally Managed From Unified Wired/Wireless Switch

Alternatively, the DWL-3500AP can operate in conjunction with a D-Link DWS-3024 or DWS-3026 unified wired/wireless switch. In this mode, multiple DWL-3500AP access points can connect directly or indirectly to one of these switches to provide unparalleled security and wireless mobility for wireless clients. Each DWL-3500AP access point will be continually tuned by these switches to provide optimal RF channels and transmission power for all mobile clients, giving them the best wireless signals and uninterrupted wireless connectivity.

Adaptable Wireless

The architecture of most current wireless LAN controllers require wireless traffic to return to the controller for centralized processing, providing unnecessary traffic delay. The DWL-3500AP – when operating with either a DWS-3024 or DWS-3026 switch – offers administrators extra options. Depending on the wireless application, wireless traffic can either be tunneled back to the switch for better security control, or locally forwarded at the access point for optimal performance. This device offers administrators maximized flexibility with options to tunnel guest traffic to the switch for centralized security control, and forward VoIP traffic directly from the access point for optimal performance.

Up to 108Mbps Speed

With transmission speeds of up to 108Mbps (Turbo mode) on both frequency bands¹, the DWL-3500AP is an ideal solution for bandwidth intensive WLAN application.

In a typical working environment with multiple users accessing the network at the same time, the DWL-3500AP can operate at double times the throughput of regular 802.11g wireless LAN equipment.

Sensitive Information Not Stored Locally

When operating in conjunction with a DWS-3024 or DWS-3026 switch, individual DWL-3500AP access points do not store any user data locally. The DWS-3024/3026 switch is the hardware that keeps network and user information. The DWL-3500AP thus can be installed in an unsecured area, and users do not have to worry about hackers stealing data directly from the access points.

Self Configuration and Easy Installation

When operating in conjunction with a DWS-3024 or DWS-3026 switch, the switch automatically configures every connected "thin" DWL-3500AP access point, so no configuration is necessary during installation. If a DWL-3500AP needs to be replaced, the replacement DWL-3500AP automatically inherits the same configuration, making the replacement process as simple as a child's game.

PoE Facilitates Wireless Deployment

For maximum coverage, the DWL-3500AP can be placed at out-of-the-way locations such as on a ceiling or a high wall, where AC outlets are inaccessible and providing power to these locations is difficult and expensive. The DWL-3500AP can easily obtain power from a DWS-3024/3026 switch located as far as 100 meters away through the existing network cable, doing away with the need to install separate power wiring. With industry-standard 802.3af PoE support, this wireless access point does not even require a PoE injector.

**ACCESS POINT**

D-Link®**DWL-3500AP**

Wireless Unified 108G Access Point

Continuous Channel Scanning To Detect Rogue AP

DWL-3500AP continuously scans both frequency bands and their associated channels to detect rogues while simultaneously providing wireless connectivity to mobile clients. If a rogue is detected, it reports the result to the DWS-3024/3026 wireless switch that manages it. From a management console, administrators can identify the rogue AP and take appropriate action.

along with wireless user MAC Address Filtering and SSID Broadcast Disable can be used to set up security and limit outsiders' access to the internal network. The DWL-3500AP supports 802.1Q VLAN Tagging and WMM (Wi-Fi Multimedia) for important wireless transmissions such as VoIP and streaming media applications, delivering critical user-based services, such as prioritized delivery of voice traffic.

Total Security & Quality of Service

The DWL-3500AP supports 64/128/152-bit WEP data encryption, WPA/WPA2 security and multiple SSID. Connected to the DWS-3024/3026 switch, these functions

Technical Specifications

Standards	+ IEEE 802.11b, 802.11g Wireless LAN + IEEE 802.3, 802.3u Ethernet + IEEE 802.3x Flow Control + IEEE 802.3af Power over Ethernet (PoE)	+ IEEE 802.11d Regulatory Domain Selection + IEEE 802.11h
Data Transfer Rates ¹	For 802.11g: + 108, 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9 and 6Mbps+ For 802.11b: + 11, 5.5, 2 and 1Mbps	
Wireless Frequency Range	+ 2.4GHz to 2.4835GHz	
RF Channels	802.11b: + 11 Channels for United States + 13 Channels for EU + 13 Channels for Japan 802.11g: + 11 Channels for United States + 13 Channels for Europe Countries + 13 Channels for Japan	
Radio and Modulation Type	For 802.11b (DSSS): + DBPSK @ 1Mbps + DQPSK @ 2Mbps + CCK @ 5.5 and 11Mbps For 802.11a/g (OFDM): + BPSK @ 6 and 9Mbps + QPSK @ 12 and 18Mbps + 16QAM @ 24 and 36Mbps + 64QAM @ 48, 54 and 108Mbps For 802.11a/g (DSSS): + DBPSK @ 1Mbps + DQPSK @ 2Mbps + CCK @ 5.5 and 11Mbps	
Transmit Output Power ² (Typical at Each Throughput Rate)	For 802.11b: + 18dBm at 11, 5.5, 2 and 1Mbps For 802.11g: + 18dBm at 6, 9, 12 and 18Mbps + 16dBm at 24 and 36Mbps + 14dBm at 48 and 54Mbps	
EIRP	Typical EIRP Using 5dBi Antennas: 63mW (18dBm)	

ACCESS POINT

D-Link®**DWL-3500AP****Wireless Unified 108G Access Point**

Receiver Sensitivity	For 802.11b: + -83dBm at 11Mbps + -89dBm at 2Mbps For 802.11g: + -87dBm at 6Mbps + -86dBm at 9Mbps + -85dBm at 12Mbps + -83dBm at 18Mbps + -80dBm at 24Mbps + -76dBm at 36Mbps + -71dBm at 48Mbps + -66dBm at 54Mbps
Antennas	Dual 5dBi Gain Detachable Dipole 2.4GHz Antennas With Reverse SMA Connectors
Ethernet Interface	10/100BASE-TX Port With 802.3af PoE
Configurable Operation Mode	Access Point Only
Security	+64/128/152-bit WEP Data Encryption +MAC Address Filtering +WPA/WPA2 EAP +WPA/WPA2 PSK +AES +802.11i-ready +802.1Q SSID Broadcast Enable/Disable +8 SSID +Isolated Security for Each SSID (Different Security Setting for Each SSID) +Station Isolation +IEEE 802.1X Supplicant
Supported Management Methods/Protocols	+Uses Protocols Supported in DWS-3024/3026 Unified Switches +HTTP/HTTPS + SSH + Syslog +Telnet
Diagnostic LEDs	+Power +LAN +WLAN
Power	+ Operating Voltage: 48VDC +/- 10% for PoE + Power Supply: Through 48VDC, 0.4A External Power Adapter + Power Consumption: Max.7W without POE Max.8.5W with POE
Dimensions	277.7 mm (L) x 155 mm (W) x 45 mm (H) (10.93 x 6.10 x 1.77 inches)
Weight	603.28grams(1.33lbs)
Temperature	+ Operating Temperature: 0° to 40° C (32° to 104° F) + Storage Temperature: -20° to 65° C (-4° to 149° F)
Humidity	+ Operating Humidity: 10% to 90% (Non-Condensing) + Storage Humidity: 5% to 95% (Non-Condensing)
Certification	+ FCC Class B + CE + C-Tick + VCCI + TELEC + UL + Wi-Fi + ICES-003 + EN60601-1-2

ACCESS POINT