



Escola Politècnica Superior
de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE DE FI DE CARRERA

TÍTOL DEL PFC: Disseny d'un Centre de Comandament Avançat per a uns cos d'emergències i seguretat

TITULACIÓ: Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

AUTOR: Pedro José Ruiz Fernández

DIRECTOR: Jordi Vidal Carreras

SUPERVISOR: Luis G. Alonso Zárate

DATA: 6 de Octubre de 2006

Títol: Disseny d'un Centre de Comandament Avançat per a un cos d'emergències i seguretat

Autor: Pedro José Ruiz Fernández

Director: Jordi Vidal Carreras

Supervisor: Luis G. Alonso Zárate

Data: 6 de Octubre de 2006

Resum

En una situació d'emergència, el correcte establiment de les comunicacions entre els membres encarregats de la seva atenció, coordinació i gestió, és vital. A més, les comunicacions han de ser fluides, fiables i segures en qualsevol moment i punt geogràfic on es produueixi l'emergència. En moltes ocasions es fa necessari que, la gestió de la informació referent a la situació d'emergència, es faci en una localització propera al lloc en què aquesta es produueix, per així poder coordinar millor els mitjans que hi actuen.

En l'actualitat existeixen Centres de Comandament Avançat que compleixen amb l'objectiu d'estar a prop de l'emergència, però que no són prou eficients, ja que no estan ben dimensionades i no aprofiten tots el mitjans tècnics disponibles per a aconseguir ser més útils i efectius.

Per tant, l'objectiu principal d'aquest projecte és dimensionar i definir tant l'estructura com l'equipament necessari per a la construcció d'un nou Centre de Comandament Avançat (CCA) que aconsegueixi millorar la coordinació i gestió de l'emergència. A més, s'ha de tenir en compte l'ús del estàndard TETRA en les comunicacions entre els diferents membres del cos d'emergències i, d'altra banda, les necessitats de les aplicacions que es fan servir per a la gestió de les actuacions.

Per això es farà un anàlisi de la situació actual, es definiran les tasques que es desitgen que dugui a terme el CCA, es realitzarà els seu dimensionament tècnic, es redactarà el plec tècnic per poder fer la seva contractació en un concurs públic i per últim es farà una proposta d'instal·lació.

Per últim, cal afegir que s'han fet proves pràctiques amb algunes de les tecnologies analitzades durant el projecte. Els seus resultats han servit per acabar de definir el plec tècnic i la proposta d'instal·lació d'un nou CCA.

Title: Design of a Advanced Commandment Centre for an emergency and security unit

Author: Pedro José Ruiz Fernández

Director: Jordi Vidal Carreras

Supervisor: Luis G. Alonso Zárate

Date: October, 6th 2006

Overview

In an emergency situation is essential to establish correctly the communication between the members who have to care, coordinate and manage that situation. In addition, communications has to be fluid, trustworthy and safe, at any time and geographic point where the emergency takes place. Some times it is necessary that the management of the information of an emergency will be done near of the point where it has become, in order to be able to coordinate better all the members that act in the emergency.

At the present time the existing “Centres of Advanced Commando” (CCA) fulfil the objective to be near the emergency. But they are not too efficient, since they aren’t well planned and they don’t take advantage of all the average technicians that they have available. Because if they use them, they will be able to be more useful and effective.

Therefore, the primary target of this project is to plan and to define the structure and the necessary equipment for the construction of a new “Centre of Advanced Commando” (CCA) that improve the coordination and management of an emergency situation. In addition, it is has to be considered the use of standard TETRA in the communications between the different members of the emergency group, and, in the other hand, the necessities from the software applications that they use for the management of the emergencies situations.

For that reason, a present situation analysis will be done, the tasks that are desired that makes the CCA will be defined, the technician plan of the CCA will be made, a technical sheet of the CCA will be write down to make its hiring in a public tender and at last, an installation proposal of a CCA will be done.

Finally, we have done test with some of the technologies we have analyzed during the project redaction. Their results have been very useful to define the technical sheet and the suggested installation of a new CCA.

ÍNDEX

Capítol 1. Introducció	1
1.1 Objectiu del projecte	1
1.2 Breu explicació del contingut del projecte	1
1.3 Estàndard TETRA: breu descripció	2
Capítol 2. Centre de Comandament Avançat (CCA): definició, situació actual i requeriments	4
2.1 Introducció: definició de CCA	4
2.2 Situació actual del CCA de Bombers	5
2.2.1 Descripció funcional del CCA de Bombers	6
2.2.2 Descripció del equipament tècnic del CCA de Bombers.....	6
2.3 Requeriments funcionals	8
2.4 Requeriments tecnològics: comunicacions de veu	8
2.4.1 Tipus de comunicacions de veu	9
2.4.2 Comunicacions de veu amb la Xarxa RESCAT	9
2.4.3 Comunicacions de veu amb la PSTN.....	10
2.5 Requeriments tecnològics: comunicacions de dades	10
Capítol 3. Comunicacions de veu: anàlisi de les seves característiques i dimensionat de l'equipament	11
3.1. Comunicacions de veu xarxa RESCAT: tràfic	11
3.1.1. Introducció	11
3.1.2. Tràfic TETRA: situació actual	12
3.1.2.1. Tràfic generat pels usuaris	12
3.1.2.2. Tràfic generat pels grups de comunicació.....	13
3.1.2.3. GoS (grau de servei) de la situació actual	14
3.1.3. Dimensionat del nombre de grups i usuaris	16
3.1.3.1. Màxim nombre d'usuaris	16
3.1.3.2. Mínim nombre de grups de comunicació	17
3.1.3.3. Màxim nombre d'usuaris per grup de comunicació.....	18
3.1.3.4. Conclusions	20
3.2. Comunicacions de veu xarxa RESCAT: cobertura	20
3.2.1. Situació actual i requeriments	20
3.2.2. Solucions per ampliar cobertura TETRA.....	21
3.2.2.1. TMO Repeater	21
3.2.2.2. DMO Repeater/Gateway	22
3.2.2.3. Altres solucions: TBS mòbil	23
3.3. Comunicacions telefòniques	23
3.3.1. Situació actual i requeriments	23
3.3.2. Solucions per comunicacions telefòniques	23
3.3.2.1. Telefonia mitjançant els terminals TETRA	24
3.3.2.2. Telefonia mòbil (GSM).....	24
3.3.2.3. Telefonia via satèl·lit	24
3.3.2.4. Telefonia IP (VoIP)	25

3.4. Equipament del lloc d'operador	25
3.4.1. Situació actual i requeriments	25
3.4.2. DWS (Dispatcher WorkStation)	27
3.4.3. Solucions integradores de TETRA i telefonia.....	27

Capítol 4. Comunicacions de dades: dimensionat dels recursos necessaris i anàlisi de l'enllaç a establir..... 30

4.1 Recursos necessaris per les comunicacions de dades.....	30
4.1.1 Aplicació de gestió d'incidències.....	30
4.1.2 Aplicació de localització de vehicles	32
4.1.3 Gestió d'usuaris TETRA.....	33
4.1.4 Altres aplicacions.....	33
4.2 Connexió de dades pel CCA: requeriments i opcions.....	34
4.2.1 Requeriments del enllaç de dades pel CCA.....	34
4.2.2 Connexió mitjançant un punt d'accés fix: cable i Wi-Fi	35
4.2.3 Connexió mitjançant enllaços "sense fils"	36
4.2.4 Grau de compliment del requeriments per part de les tecnologies "sense fils" ...	36
4.3 Prova d'enllaços "sense fils"	39
4.3.1 Prova WiFi (xarxa MESH)	40
4.3.2 Prova UMTS	41
4.3.3 Prova Wimax	41
4.3.4 Prova d'enllaç via satèl·lit	42
4.3.5 Conclusions	43

Capítol 5. Plec de condicions tècniques i proposta de instal·lació d'un CCA 44

5.1 Plec de condicions tècniques d'un CCA.....	44
5.1.1 Comunicacions de veu: Radiocomunicacions	44
5.1.2 Comunicacions de veu: Telefonia	45
5.1.3 Comunicacions de veu: integració del equipament d'operador	45
5.1.4 Comunicacions de dades: tecnologia per a establir l'enllaç.....	46
5.1.5 Comunicacions de dades: equipament interior	47
5.2 Proposta d'instal·lació d'un CCA	47
5.2.1 Consideracions generals	47
5.2.2 Equipament de veu i dades	48
5.2.2.1 Comunicacions de veu	48
5.2.2.2 Comunicacions de dades	49
5.2.2.3 Equipament complementari per veu i dades	49
5.2.3 Altres consideracions	50
5.2.3.1 Alimentació	50
5.2.3.2 Sistema R radiant	50
5.2.4 Esquema general de la instal·lació proposada.....	51
5.2.5 Especificacions de la instal·lació de veu i dades.....	52
5.2.6 Pressupost del equipament de veu i dades	53

Capítol 6. Conclusions i estudi d'ambientalització 54

6.1. Conclusions	54
6.2. Estudi d'ambientalització	55

Bibliografia..... 56

ANNEX 1. Estàndard TETRA	59
A1.1 Aspectes generals	59
A1.1.1 Funcions de Xarxa suportades per TETRA V+D	59
A1.1.1.1 Establiment del servei	60
A1.1.1.2 Registre a la Xarxa	60
A1.1.1.3 Reselecció de cel·la	60
A1.1.2 Interfícies	61
A1.2 Serveis definits a l'estàndard TETRA.....	63
A1.3 Característiques radioelèctriques de TETRA	64
A1.3.1 Freqüències:	65
A1.3.2 Potència de TBS i terminals TETRA	66
A1.3.3 Modes d'operació	67
A1.3.4 Característiques bàsiques del Mode Directe (DMO)	69
A1.3.5 Estructura de la Trama TDMA.....	70
A1.3.6 Tipus de canals	72
A1.3.7 Gestió de cues i prioritats	73
A1.4 Serveis de dades	74
ANNEX 2. Ús de les comunicacions a Bombers.....	76
A2.1 Xarxa TETRA de Bombers	76
A2.2 Estructura de la Xarxa	76
A2.3 Gestió i ús de la Xarxa	79
A2.3.1 Tipus de terminals	79
A2.3.2 Mode d'actuació (cas concret del foc forestal).....	79
ANNEX 3. Serveis de dades TETRA: aplicació a Bombers.....	83
A3.1 Evolució dels serveis de dades: TETRA Release 2	83
A3.2 Aplicacions de dades a Bombers	85
A3.2.1 Aplicació SIG de Bombers.....	85
ANNEX 4. Càlcul de tràfic: formulació i simulacions	88
A4.1 Mètode de càlcul i aplicació a la Xarxa RESCAT.....	88
A4.1.1 Mètode de càlcul emprat: distribució Erlang C	88
A4.1.2 Consideracions sobre càlcul del nombre màxim d'usuaris	92
A4.1.3 Consideracions sobre càlcul del nombre mínim de grups	93
A4.2 Simulació amb software per a sistemes trunking [8]	94
A4.2.1 Consideracions prèvies	94
A4.2.2 Paràmetres de les simulacions.....	95
A4.2.3 Resultats de les simulacions	98
ANNEX 5. Enllaços via satèl·lit.....	102
A5.1 Xarxes VSAT [19]	102
A5.1.1 Avantatges de les Xarxes VSAT	103
A5.1.2 Classificació de les Xarxes VSAT	103
A5.1.3 Proveïdors de servei enllaços VSAT	105

A5.2	Enllaços punt a punt	105
A5.2.1	Avantatges i aplicacions dels enllaços punt a punt.....	106
A5.1.4	Proveïdors de servei.....	106

ANNEX 6. Equipament de veu i dades: models comercials de proves i de la proposta d'instal·lació 107

A6.1	Equips proves de dades	107
A6.1.1	UMTS.....	107
A6.1.2	VSAT: BGAN	108
A6.2	Equips de la proposta d'instal·lació	108
A6.2.1	Terminals TETRA	108
A6.2.2	Terminals VHF (banda aeronàutica i marina)	109
A6.2.3	Terminals GSM/GPRS	110
A6.2.4	Integrador d'àudio: DCS 5020 de Zetron [14]	111
A6.2.5	Sistema VSAT	111
A6.2.6	Sistema alimentació	113
A6.2.7	Rack d'equips	113

INDEX DE TAULES i FIGURES

Taula 2.1. Distribució funcional del CCA.....	6
Taula 2.2. Equipament tècnic del CCA	7
Taula 3.1. Tràfic que generen usuaris en foc forestal típic, en l'hora carregada (trucades de grup i individuals).....	12
Taula 3.2. Grups de comunicació que s'estableixen durant les primeres hores d'un foc forestal.	14
Taula 3.3. GoS per la distribució d'usuaris en la primera hora del foc, distribuïts en un sol grup de comunicació.....	14
Taula 3.4. GoS per la distribució d'usuaris en les primeres hores del foc, distribuïts en dos grups de comunicació.	15
Taula 3.5. GoS per la distribució d'usuaris en les primeres hores del foc, amb un augment significatiu d'usuaris i distribuïts en dos grups de comunicació....	15
Taula 3.6. Nombre màxim de tipus d'usuaris en hora carregada, en un foc forestal (zona delimitada), en funció de les portadores de les TBS a les que es connecten, amb un GoS d'un 5% i un temps màxim d'espera de 5 segons....	17
Taula 3.7. Càlcul n° grups de comunicació necessaris amb el tràfic de l'hora carregada.	17
Taula 3.8. Nombre màxim d'usuaris tipus, distribuïts per tipus de grup, amb tots els usuaris connectats a una TBS de 1 portadora o a una TBS de 2 portadores.	18
Taula 3.9. Distribució òptima del màxim nombre d'usuaris en el mínim nombre de grups (en les primeres hores d'un foc forestal).	19
Taula 3.10. Prova amb ampliador de cobertura en dos punts donats.....	22
Taula 4.1. Característiques de les tecnologies inalàmbriques per al CCA [18].	36
Taula 4.2. Resum característiques tècniques de les tecnologies analitzades per a establir un enllaç de dades al CCA.	39
Taula 5.1. Pressupost de l'equipament de veu i dades.....	53
Taula A1.1. Codis de les publicacions de l'estàndard TETRA.....	62
Taula A1.2. Transicions de fase de la modulació $\pi/4$ -DQPSK.....	65
Taula A1.3. Potència de TBS segons classe.....	66
Taula A1.4. Classes de potència dels terminals TETRA.	67
Taula A1.5. Tipus de receptors i ús per al que estan optimitzats.....	67
Taula A1.6. Sensibilitat dels terminals TETRA.	67
Taula A1.7. Codis associats als missatges d'estat.	75
Taula A1.8. Tipus de missatges SDS.	75
Taula A4.1. Percentatge de sinistres per comarca i TBS d'1 i 2 portadores que donen servei a la comarca.	90
Taula A4.2. Paràmetres pel càlcul del màxim nombre d'usuaris.	92
Taula A4.3. Càlcul n° grups necessaris amb el tràfic de l'hora carregada.....	93
Taula A4.4. Dades dels usuaris per la simulació.	99
Taula A4.5. Paràmetres de sortida per configuracions de 3 fins a 6 grups.....	99
Taula A4.6. Paràmetres de sortida per a 3 i 7 canals.	100
Taula A4.7. Configuració de nombre màxim d'usuaris per grup.	100
Taula A4.8. Resultats del simulador per la configuració del màxim nombre d'usuaris per grup.....	101
Fig. 2.1. Estructura del CCA.	6

Fig. 2.2. Interior del CCA.	7
Fig. 3.1. Visió general d'un lloc d'operador d'un control central de Bombers... 26	
Fig. 3.3. Esquema de funcionament de la solució GEMYC de Fedetec [15].... 29	
Fig. 4.1. KBytes/s enviats/rebuts d'un PC executant només l'aplicació de gestió (blau: bytes rebuts; vermells: bytes enviats) en un període d'activitat de 6 h... 31	
Fig. 4.2. KBytes/s enviats/rebuts d'un PC executant només l'aplicació de gestió d'incidències mitjançant una aplicació de tipus "Terminal Server" (blau: KBytes/s rebut; vermells: KBytes/s enviats) durant un període de 6 hores. ... 32	
Fig. 4.3. KBytes/s enviats/rebuts per segon d'un PC executant només l'aplicació de localització de vehicles (vermell: bytes rebuts; groc: bytes enviats), en un interval de molta activitat (de 150 a 200 vehicles). 33	
Fig. 5.1. Matriu integradora de les comunicacions de veu. 48	
Fig. 5.2. Mòdul GSM on es pot connectar un telèfon o un cable per dades.... 49	
Fig. 5.3. Equipament de l'enllaç (antena i mòdem). 49	
Fig. 5.4. Vista en planta de la distribució interior proposada..... 51	
Fig. 5.5. Vista en secció de la distribució proposada. 52	
Fig. 5.6. Esquema instal·lació rack de veu i dades. 52	
Fig. A1.1. Interfícies TETRA. 62	
Fig. A1.2. Possibles escenaris de funcionament del TMO Repeater (1: exteriors, 2: túNELS, 3: edificis). 68	
Fig. A1.3. Esquema funcional del DMO Gateway..... 68	
Fig. A1.4. Esquema funcional del DMO Repeater. 69	
Fig. A1.5. Esquema funcional del DMO Repeater/Gateway. 69	
Fig. A1.6. Accés dels usuaris a la trama TDMA. 70	
Fig. A1.7. Estructura de la trama TDMA. 71	
Fig. A1.8. Canals lògics de control (CCH). 73	
Fig. A1.9. Cua de prioritats. 74	
Fig. A2.1. Estructura bàsica de la Xarxa TETRA d'aquest projecte..... 78	
Fig. A2.2. Configuració de les comunicacions en una primera sortida. 80	
Fig. A2.3. Sectorització de les comunicacions als inicis d'un sinistre. 81	
Fig. A2.4. Sectorització de les comunicacions en un gran foc forestal. 81	
Fig. A3.1. Evolució del estàndard TETRA de dades [10]. 83	
Fig. A3.2. Tendències del TETRA Release 2 [10]. 84	
Fig. A3.3. Aplicacions possibles a cadascuna de les versions de TETRA [10].84	
Fig. A3.4. Fases de la transmissió de dades en l'aplicació SIG de Bombers. . 85	
Fig. A4.1. finestra paràmetres generals..... 96	
Fig. A4.2. Distribució en temps de les comunicacions fetes a [13]. 97	
Fig. A4.3. Paràmetres de servei de les simulacions. 97	
Fig. A4.4. Paràmetres de flota. 98	
Fig. A4.5. Resultat en simular configuració "original" amb 1 i 2 canals. 99	
Fig.A6.1. "Cub" de la xarxa MESH amb la que s'han fet proves. 107	
Fig. A6.2. PCMCIA dual 3G/GPRS..... 107	
Fig.A6.3. Equip que es va fer servir per a les proves d'un enllaç satèl·lit. 108	
Fig.A6.4. Vista del capçal i de la CPU del terminal. 109	
Fig.A6.5. Terminal de banda aeronàutica. 110	
Fig.A6.6. Terminal de banda marina. 110	
Fig.A6.7. Modem/router del proveïdor del servei satèl·lit [26]. 111	
Fig.A6.8. Antena satèl·lit automàtica [32]. 112	
Fig.A6.9. Generador model P9000 del fabricant Pramac. 113	
Fig.A6.10. Gama de racks del fabricant GBO..... 114	

ACRÒNIMS

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
CCA	Centre de Comandament Avançat
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DMO	Direct Mode Operation
DWS	Dispatcher WorkStation
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
ISDN ó RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
ISSI	Individual Short Subscriber Identity
LAN	Local Area Network
MCCH	Main Control CHannel
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PAMR	Private Access Mobile Radio
PMR	Personal Mobile Radio
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTT	Push-To-Talk
QoS	Quality Of Service
SDS	Short Data Services
SIG	Sistema d'Informació Geogràfica
SMS	Short Message Service
TBS	TETRA Base Station
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
TMO	Trunked Mode Operation
UMTS	Universal Mobile
VHF	Very High Frequency
VPN	Virtual Protocol Network
VSAT	Very Small Aperture Terminals
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area network

Capítol 1. Introducció

En el món de les emergències els Centres de Comandament Avançat (CCA) són un peça clau per la coordinació dels efectius que actuen en un sinistre de grans dimensions. Per aquestes situacions existeixen plans d'emergència que indiquen les mesures que s'han de prendre, i la seva activació i seguiment és responsabilitat de Protecció Civil, que a Catalunya forma part de la Direcció General d'Emergències i Seguretat Civil, on els seus efectius són els Bombers de la Generalitat. Per això aquest projecte es centrarà en el CCA de Bombers de la Generalitat i s'analitzaran els recursos tècnics necessaris per a un funcionament òptim. Però a l'hora de fer l'anàlisi tècnic s'ha de tenir en compte un factor molt important: Bombers és usuari d'una xarxa de radiocomunicacions d'estàndard TETRA (anomenada RESCAT), estàndard del que es fa una breu descripció a continuació (apartat 1.3) i que s'amplia a l'Annex1.

1.1 Objectiu del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és analitzar i dimensionar l'equipament de veu i dades que s'hauria d'incloure en el disseny d'un nou CCA. Actualment a Bombers ja existeix un vehicle que fa les funcions de CCA, però els recursos tecnològics que té són insuficients, ja que els operadors que hi treballen al seu interior no poden disposar de les mateixes eines que al seu lloc habitual de treball (el centre de control). Així mateix, a més de dimensionar l'equipament de veu i dades, es proposarà una instal·lació d'un CCA, de manera que en el moment de fer el seu disseny definitiu es pugui tenir en compte l'espai que ocuparia i el seu pes (factors decisius a l'hora de triar el tipus de vehicle).

1.2 Breu explicació del contingut del projecte

Al capítol 2 es fa una definició de CCA (Centre de Comandament Avançat) i el seu paper a l'organització de Bombers. A continuació s'analitza el vehicle que realitza actualment les funcions de CCA, parant especial atenció a l'equipament de veu i dades. Així mateix, tenint en compte que l'objectiu final és que els operadors que treballin al CCA disposin de les mateixes facilitats que a un centre de control, s'estableixen els requeriments funcionals i tecnològics pel disseny d'un nou CCA.

Al llarg del capítol 3 s'analitzen les característiques de les comunicacions de veu, que es fan a través d'una xarxa TETRA i de la xarxa telefònica. A continuació, es dimensionen les comunicacions TETRA, parant atenció als dos paràmetres més importants: el tràfic i la cobertura. Pel que fa a les comunicacions telefòniques, s'analitzen les diferents tecnologies disponibles per a cursar-les en un entorn mòbil, que normalment se situa a llocs on no es disposa d'accés a xarxes fixes. Per últim, també s'analitza l'equipament

d'operador necessari per a establir les comunicacions de veu des d'una única interfície que les integri, facilitant així la tasca dels operadors.

Durant el capítol 4 es fa un anàlisi de les comunicacions de dades, començant pel dimensionament dels recursos necessaris del enllaç, que es realitza a partir de la monitorització de les dues aplicacions que habitualment fan servir els operadors de Bombers (gestió d'incidències i localització de vehicles). Un cop fixats els requeriments que hauria de complir l'enllaç entre el CCA i la seu central de Bombers, es plantegen totes les options possibles i s'estudia la seva idoneïtat. A més, a partir dels resultats de les proves fetes amb algunes de les tecnologies al llarg d'aquest projecte, i de l'anàlisi previ de cadascuna d'elles, es proposa quina podria ser la millor de les solucions plantejades.

Finalment, al capítol 5, a partir dels estudis fets als capítols 3 i 4 es redacta un plec de condicions tècniques que hauria de complir l'equipament de veu i dades que s'inclogui en un nou CCA. I, a mode d'exemple, es proposa una instal·lació de veu i dades, incloent els models comercials i un plànol de distribució.

Per últim, al capítol 6 s'exposen les conclusions del projecte i l'estudi d'ambientalització.

1.3 Estàndard TETRA: breu descripció

Els sistemes anomenats de radiotelefonía privada, PMR (Private Mobile Radio), es caracteritzen perquè tenen una cobertura bàsicament local i no estan connectats a la xarxa telefònica pública commutada. Això els fa ideals per al establiment de comunicacions en tasques de despatx, per a la gestió de les activitats de flotes de vehicles en aplicacions per a serveis de policia, electricitat, bombers, protecció civil, etc.

Els sistemes de concentració d'enllaços (trunking) fan servir tècniques de multiaccés (TDMA p.ex.), basades en la compartició de freqüències. Aquesta característica és molt important degut a la falta de canals de RF.

El sistema TETRA (TERrestrial TRunked RAdio) és un estàndard de comunicacions mòbils digitals de tipus trunking per a sistemes PMR (*Private Mobile Radio*) y PAMR (*Private Access Mobile Radio*), elaborat per la ETSI (European Telecommunication Standards Institute), que es va iniciar l'any 1988. Al mes de Desembre de 1994 es va establir el *TETRA Memorandum of Understanding* (TetraMoU) per a crear un fòrum amb representants dels usuaris, fabricants, operadors i agències de telecomunicacions. El seu paper és el de donar suport i accelerar el procés d'estandardització, a més de donar suport a l'assignació d'una part del espectre comú en els diferents països. L'any 1995 es van establir les seves parts fonamentals i en 1997, es va considerar que l'estàndard ja estava del tot complert i, llavors es va començar la segona fase instal·lant-se els primers sistemes.

A més de les característiques bàsiques dels sistemes PMR com el Mode Directe i les trucades de grup, l'estàndard TETRA conté una àmplia gama de

facilitats, adequades per als operadors de serveis trunking. Entre ells destaquen:

- És un estàndard obert, i per tant hi ha una única normativa per a diversos fabricants.
- Comunicacions dúplex de veu i dades o semidúplex de veu amb dades pel mateix equip.
- Temps d'establiment de trucades molt baix (<300 milisegons).
- Alta qualitat de les senyals de veu i dades, gràcies a l'ús d'algoritmes de correcció d'errors.
- Seguretat de les comunicacions: autenticació dels equips (tant dels equips com de la xarxa), possibilitat d'encriptació extrem a extrem (E2E), bloqueig d'equips robats, etc.
- Identificació i encaminament de trucades.
- Flexibilitat de configuracions: definició de grups d'usuaris i de cobertura del grup es pot fer dinàmicament, així com la gestió de les prioritats.
- Multitud de serveis suplementaris.
- Amplia gama de interfícies i capçaleres per al funcionament amb xarxes telefòniques externes, com PSTN i ISDN.
- Ofereix una gran eficiència espectral en proporcionar quatre canals en 25 KHz (a GSM es tenen 8 canals de veu per 200 KHz).
- Varietat àmplia de serveis de veu (comunicacions en grups, trucades individuals entre terminals i trucades de difusió (broadcast)).
- Operació de gestió (despatx, DWS) amb control total de trucades.
- Comunicació directa entre terminals (DMO), que ofereix un seguit d'avantatges significatius:
 - o Operació fora de les zones de cobertura de la infraestructura.
 - o Capacitat addicional quan la xarxa *trunking* està molt carregada.
 - o Operacions en àrees amb recepció de senyal molt débil, amb les opcions d'ampliar cobertura mitjançant els Repeaters i Gateways DMO (veure Annex 1).
- Definició de prioritats diferents per les trucades, i existència de trucades d'emergència amb opció de ser "preemptives" (poden fins i tot tallar altres comunicacions si és necessari).
- Missatges d'estat per reduir la càrrega de tràfic.
- Possibilitat d'ofrir serveis especials com l'assignació dinàmica de grups (DGNA), l'escolta d'ambient o l'escolta discreta.

A més de totes aquestes característiques tècniques cal destacar que el fet de tractar-se d'un estàndard obert fa que hi hagin molts fabricants, facilitant així l'aparició d'economies d'escala, augmentant la competitivitat i afavorint la reducció dels preus (tant dels terminals com de les infraestructures de xarxa).

Capítol 2. Centre de Comandament Avançat (CCA): definició, situació actual i requeriments

2.1 Introducció: definició de CCA

Els cossos d'emergència i seguretat estan dimensionats amb els mitjans suficients per a atendre les situacions de risc més freqüents. Mitjans que normalment es coordinen des d'un centre de control, però que quan l'emergència és d'una magnitud major de l'habitual i el nombre de medis necessaris per a atendre-la és molt gran, la coordinació i la gestió dels recursos es fa difícil. Llavors apareix la necessitat de tenir un centre de control proper a l'emergència, ja que és on es genera la informació i perquè d'aquesta forma el centre de control pot atendre d'altres emergències que puguin sorgir a la resta del territori que està sota el seu control.

Aquest centre de control proper a l'emergència s'anomena Centre de Comandament Avançat (CCA), i la seva definició formal és la següent [1]: “...òrgan que integra, en un punt d'actuació concreta sobre el terreny de la calamitat, els diferents tècnics coordinadors de cada grup d'actuació i els caps jeràrquics naturals” (PROCICAT¹). Es tracta d'un òrgan de coordinació entre cossos i dins de cada un d'ells”.

Així mateix, la següent normativa legal fa obligatòria l'existència d'un Centre de Comandament Avançat, del que s'ha d'encarregar Protecció Civil, que a Catalunya està integrada a la Direcció General d'Emergències i Seguretat Civil (Bombers). Per tant, Bombers de la Generalitat s'ha d'encarregar de la seva posada en marxa i per això serà en aquest CCA en el que es centrarà el projecte:

- Llei 5/1994 de 4 de maig de regulació dels serveis de prevenció i extinció d'incendis i de salvaments de Catalunya.
- Llei 4/1997, de 20 de maig, de protecció civil de Catalunya. (Correcció d'errades en el DOGC núm. 2406, pàg. 6158, de 5.6.1997) (DOGC 2401 de 29.05.1997) secció tercera, article 20, apartat 1 lletra g: “les infraestructures operatives, que han d'incloure, com a mínim, un centre receptor d'alarmes, un centre de coordinació operativa i els centres de comandament avançat”.
- Decret 103/1998, de 28 d'abril, d'estructura de la Direcció General d'Emergències i Seguretat Civil i regulació de les funcions de guàrdia.
- Decret 162/2001, de 12 de juny, d'estructura de la Direcció General d'Emergències i Seguretat Civil.

Per tant, aquest CCA és una eina de gestió d'emergències que té una doble vessant d'utilització:

¹ PROCICAT: pla d'emergència de Protecció Civil aplicat Catalunya. S'aplica en situacions d'elevat risc, de catàstrofe o calamitat pública que no queden recollides en plans d'emergència específics, com per exemple el INFOCAT que és el pla d'emergència per a incendis forestal o el INUNCAT, que és el pla d'emergències per a pluges torrencials i inundacions.

- Com a eina per a organitzar i coordinar les tasques dutes a terme en una emergència per part dels Bombers.
- Com a eina inclosa als plans de protecció civil per la coordinació dels diferents cossos, administracions i mitjans activats pel pla d'emergència. I com actualment aquests plans s'activen des de Bombers, serà el seu CCA el que s'analitzarà en aquest projecte.

Les dues funcions abans esmentades es complementen, i, en resum, les funcions que se li poden atribuir són:

- Direcció estratègica de la intervenció per a la reducció de l'emergència i control del risc.
- Coordinació dels diferents grups d'actuació.
- Coordinació entre els diferents cossos dins de cada grup d'actuació.
- Centre de recepció, elaboració i transmissió d'informació.
- Vetllar per a la seguretat dels actuants i víctimes.
- Emetre informació a la població i als mitjans de comunicació.

2.2 Situació actual del CCA de Bombers

Actualment a Bombers hi ha un vehicle que exerceix les funcions de CCA, però amb recursos limitats. A més, també hi han uns altres vehicles que, amb menys recursos que el primer vehicle, poden exercir les funcions de CCA.

Al Annex 2 es fa una descripció de l'operativa de Bombers, que serveix per a entendre millor el paper del CCA dintre de l'estructura concreta de Bombers i de la Protecció Civil en general. No obstant, es precis remarcar que el CCA només es fa sortir quan hi ha un sinistre en el que han d'intervenir un elevat nombre de mitjans o si hi ha un greu risc per a un grup important de població. A més, en aquest tipus de sinistres el seguiment des del centre de control habitual és més complicat de dur a terme. L'exemple més habitual d'aquest tipus de sinistre és el d'un foc forestal, que és el que provoca la majoria de les sortides del actual CCA.

El CCA doncs ha de dur a terme les mateixes funcions que el control de Bombers, però gestionant un sol sinistre i estant a prop del sinistre, deixant el control "lliure" per atendre d'altres possibles sinistres. I, per tant, des del CCA es gestiona i coordina la informació del sinistre, mobilitzant els mitjans necessaris per atendre'l i coordinant la seva actuació.

A continuació es farà una descripció de l'estructura i l'equipament del vehicle que actualment fa les funcions de CCA. A partir d'aquest vehicle i l'experiència adquirida en les seves actuacions es determinaran els requeriments per a un nou CCA, que és l'objectiu final d'aquest projecte.

2.2.1 Descripció funcional del CCA de Bombers

El CCA consta d'una furgoneta, que d'ara en endavant anomenarem N770 (identificador del vehicle), al costat de la que s'instal·len dues tendes de campanya. A la taula 2.1 es resumeix l'actual distribució dels espais del vehicle de CCA en funció de les tasques que es duen a terme a cadascun d'ells. I, a la figura 2.1 es mostra una imatge del CCA actual, desplegat a l'estiu del 2005.

Taula 2.1. Distribució funcional del CCA

CCA		
Vehicle N770 Furgoneta amb espai per a 2 operadors a on es duu a terme la coordinació estratègica de la incidència. Així mateix, hi ha una part reservada per a instal·lar l'equipament tècnic necessari.	“Sala tàctica” Tenda de campanya que es situa annexa al vehicle N770. Aquí hi ha lloc per a d'altres operadors, així com personal de Bombers, que s'encarrega de coordinar els recursos i els mitjans necessaris per a atendre el sinistre.	“Sala Polivalent” Tenda de campanya que es situa annexa a la sala tàctica destinada a reunions de coordinació o de comandaments i a la informació a les autoritats. Es pot dir que es fa servir com a “sala de crisi”.



Fig. 2.1. Estructura del CCA.

2.2.2 Descripció del equipament tècnic del CCA de Bombers

El CCA necessita poder establir comunicacions de veu i dades, i per això es disposa del equipament que es resumeix a la taula 2.2.

Taula 2.2. Equipament tècnic del CCA

CCA		
Vehicle N770	“Sala tàctica”	“Sala polivalent”
7 terminals mòbils TETRA 2 Ordinadors de sobretaula 1 mòdem GPRS 2 enllaços GSM amb 2 telèfons connectats 1 punt d'accés Wi-Fi 1 SAI per als 2 PC 2 fonts d'alimentació i 2 bateries per als terminals TETRA.	4 terminals mòbils TETRA 2 Ordinadors portàtils, amb targeta Wi-Fi 1 projector (per veure vehicles situats a un mapa, a través d'una aplicació SIG pròpia de Bombers).	4 terminals mòbils TETRA 2 Ordinadors portàtils, amb targeta Wi-Fi 1 projector (per veure vehicles situats a un mapa, a través d'una aplicació SIG pròpia de Bombers).

Els terminals TETRA són necessaris perquè com ja s'ha comentat, Bombers fan servir una Xarxa d'estàndard TETRA (anomenada RESCAT) per a establir les seves comunicacions en les seves intervencions (tots els vehicles tenen instal·lat un terminal TETRA i a més cada bomber també disposa d'un terminal portàtil TETRA). A més, hi han 2 terminals telefònics convencionals connectats mitjançant dos enllaços GSM. Aquests enllaços són dues “caixes” amb una targeta SIM d'una operadora diferent cadascuna, que permeten la connexió de telèfons convencionals.

Pel que fa a les comunicacions de dades, que són necessàries per a les aplicacions instal·lades en els ordinadors del CCA, es fan mitjançant un mòdem GPRS i mitjançant els terminals TETRA (missatges SDS). A més, al CCA s'instal·la una WLAN mitjançant un punt d'accés connectat a un dels dos ordinadors de la furgoneta (connectat al mòdem GPRS), que fa de servidor. D'aquesta forma els ordinadors portàtils que es facin servir a les tendes de campanya annexes només necessiten configurar la seva connexió Wi-Fi per tenir accés a la informació del servidor.

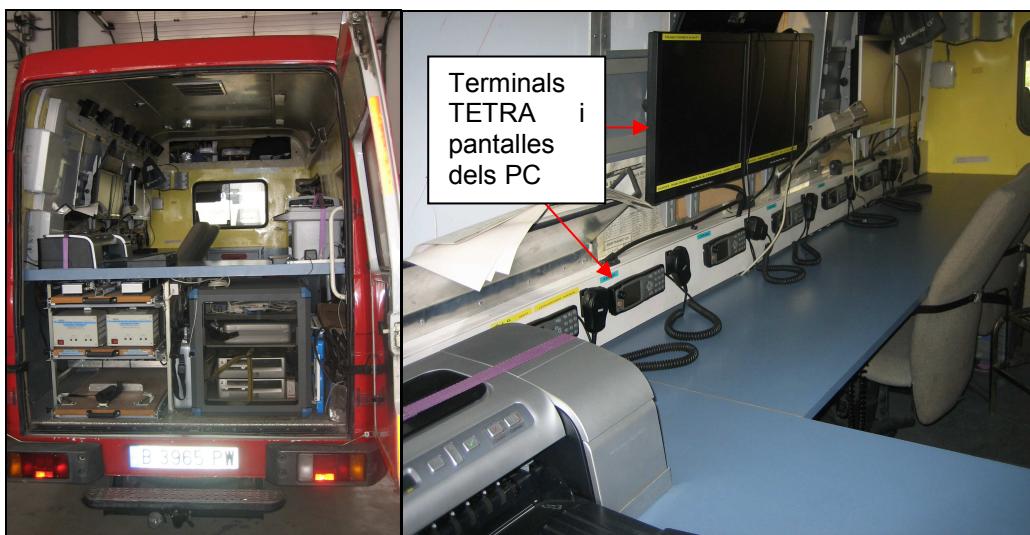


Fig. 2.2. Interior del CCA.

2.3 Requeriments funcionals

A partir de l'experiència adquirida durant el temps que porta en funcionament el CCA anteriorment descrit, es poden definir els requeriments funcionals per a un nou CCA. El model de CCA actual té dèficits tant pel que fa als equipaments tècnics (comunicacions de veu i dades) com pel que es refereix al confort ambiental. I partint d'aquest model, les millores que es volen aconseguir són:

- Consolidar-lo tecnològicament amb els recursos necessaris per a que els operadors tinguin a la seva disposició les mateixes eines de gestió que a un control de Bombers, amb les mateixes prestacions: possibilitat de comunicació amb els terminals de la Xarxa RESCAT, telèfons, accés a l'aplicació de seguiment de vehicles amb GPS (SIG_DGESC, veure Annex 3) i a l'aplicació de gestió d'incidències que comparteixen tots els controls de bombers.
- Els recursos tècnics de veu i dades han de poder fer-se extensibles a un mínim de 2 posicions al interior del vehicle: una posició per gestió estratègica o global i una altra per gestió tàctica o de sectors. Tot i que el projecte es centrarà en el vehicle, cal tenir en compte que a la sala tàctica i polivalent hi haurien d'haver les següents posicions, que seran de consulta:
 - Quatre posicions polivalentes a la sala tàctica. Han de servir per a consulta i/o treball, hi han d'estar a disposició dels diferents grups de Bombers (GRAF, Mitjans aeris, logística, cartografia i comandaments). Aquestes posicions també han de disposar de comunicacions amb la Xarxa RESCAT (amb terminals TETRA independents dels del vehicle) i possibilitat només de consulta de les aplicacions de gestió.
 - Dues posicions per coordinació: una a la sala tàctica i una altre a la sala polivalent. Aquestes posicions només han de disposar de la possibilitat de consulta de l'aplicació "SIG_DGESC" i de l'aplicació de gestió (a partir de l'aplicació que hi hagi a l'interior de la furgoneta).
- Tot i que el CCA es pot desplaçar a diferents tipus d'incidències, a Bombers es fa sortir principalment en els focs forestals de dimensions considerables. Per tant, el CCA s'ha de poder desplaçar i posar en funcionament a qualsevol punt de Catalunya, amb accés a tots els recursos mencionats anteriorment i assumint tasques de comandament i coordinació operativa.
- Garantir un mínim de confort ambiental en aspectes bàsics com la regulació de la temperatura interior, el nivell de lluminositat i el nivell de soroll ambient, que són algunes de les deficiències. I tot i que aquests aspectes no es tractaran en aquest projecte, es tindran en compte a l'hora de fer la proposta final.

2.4 Requeriments tecnològics: comunicacions de veu

Un cop analitzades les necessitats funcionals del CCA, es descriuen les seves necessitats tecnològiques, tenint en compte l'equipament del que disposa,

descrit a l'apartat 2.2. I, tot i que tecnològicament al CCA es poden distingir diferents parts, aquest projecte es centrarà bàsicament en les referents a les comunicacions de veu i dades. A més, cal recordar que l'objectiu final d'aquest ànalisi és definir els criteris que permetin avaluar adequadament les solucions existents en el mercat, per així poder triar la més adient.

2.4.1 Tipus de comunicacions de veu

Les comunicacions de veu que s'estableixen al CCA són de 2 tipus:

- **Operatives:** s'estableixen entre els membres que atenen les incidències i bàsicament fan servir la xarxa RESCAT (comunicacions de grup i comunicacions en DMO).
- **De gestió:** s'estableixen entre els mitjans que comandan els incidents i els operadors del CCA i/o el control central, per tal de informar sobre l'estat del incident i per a mobilitzar els mitjans i recursos que es considerin necessaris. També s'inclouen les comunicacions entre el CCA i el centre de control de regió a on té lloc el incident, per tal de coordinar els mitjans (fer relleus de personal, gestionar avituallament, demanar mitjans d'altres regions i/o mitjans aeris, etc.).

Aquestes comunicacions es fan amb terminals de la xarxa RESCAT (trucades de grup i individuals) i també a través de la xarxa pública telefònica (PSTN).

Per tant, al CCA s'han de poder establir comunicacions amb terminals de la Xarxa RESCAT i comunicacions telefòniques amb el control central. A l'Annex 2 es detalla el funcionament de les comunicacions en la operativa de Bombers.

2.4.2 Comunicacions de veu amb la Xarxa RESCAT

Per tal d'assegurar comunicacions a través de la Xarxa TETRA de Bombers (RESCAT) hi ha dos factors importants a analitzar: la cobertura i el tràfic.

La **cobertura** és un factor molt important a l'hora de decidir l'emplaçament d'un CCA, ja que l'establiment de les comunicacions amb els terminals de la Xarxa TETRA és fonamental i indispensable. Tot i que en la majoria de casos, i sempre que és possible, el CCA s'instal·la en el nucli de població afectada pel sinistre o molt a prop. Aquest fet, amb les dades de que es disposen² de la cobertura de la Xarxa RESCAT a Catalunya, gairebé assegura la cobertura al CCA. No obstant això, s'ha de tenir en compte que és possible que el nivell de recepció a l'emplaçament del CCA sigui baix, fet que pot dificultar l'establiment de les comunicacions. Per això al CCA pot ser útil l'ús de solucions que puguin millorar la cobertura, algunes de les quals ja estan disponibles a Bombers ("gateway" i ampliador de cobertura). En el següent capítol s'analitzarà la

² Les dades de cobertura s'estreuen amb una eina de simulació i amb mesures fetes en els punts a on els bombers ens indiquen que han tingut problemes.

idoneïtat d'aquest tipus de solucions, tant de les ja existents com d'altres disponibles al mercat.

Pel que fa al **tràfic**, la seva estimació és un factor decisiu a l'hora de decidir el nombre màxim de grups que es poden fer servir en un sinistre, i, per tant, el nombre de terminals necessaris al CCA. Per això, al capítol següent, es farà un estudi del tràfic que es genera, tenint en compte les característiques de les comunicacions (quantitat i duració), els recursos de la Xarxa i les estadístiques recollides en sinistres anteriors. A més, també es faran simulacions amb un software específic per a sistemes trunking [8], cedit per la UPC.

2.4.3 Comunicacions de veu amb la PSTN

Com ja s'ha comentat al CCA també existeix la necessitat de realitzar comunicacions telefòniques amb el control de bombers i amb els d'altres cossos (Mossos d'Esquadra, Policies Locals, Forestals, SEM, etc). Existeixen moltes possibilitats: telèfons mòbils, terminals TETRA, terminals via satèl·lit i terminals VoIP. Però el que sembla clar és que l'operador del CCA ha de poder establir les comunicacions que consideri necessàries amb una elevada fiabilitat.

A més, el terminal que es faci servir ha de ser fàcilment integrable en l'entorn de treball, facilitant la feina al operador. Llavors es poden plantejar múltiples solucions: l'ús d'un terminal telefònic clàssic, integració en una aplicació del PC, entre d'altres. I com a criteri s'establirà el del ús de la solució que amb un menor cost permeti realitzar comunicacions amb qualsevol telèfon en la majoria de situacions. Així mateix, sempre que sigui possible es pot plantejar l'aprofitament de la capacitat proporcionada pels enllaços de dades (si aquests tenen suficient capacitat).

2.5 Requeriments tecnològics: comunicacions de dades

Les comunicacions de dades que s'han d'establir des del CCA han de permetre accedir a les mateixes aplicacions que un operador disposa al control central. O com a mínim a alguna adaptació d'aquestes, sense disminuir la quantitat i la qualitat de la informació que es gestiona. A més, les dades enviades pel CCA només tenen un punt de destí: el clúster a on estan allotjades les aplicacions i les bases de dades que es fan servir als controls de Bombers.

En cas que les característiques dels enllaços no permetessin una correcta comunicació s'estudiarien les possibles alternatives (p. ex. modificant les aplicacions o fent-ne una de nova). Així mateix, cal afegir que s'ha de complir el mateix requisit que per a les comunicacions de veu és indispensable: assegurar les comunicacions en qualsevol lloc a on s'emplaci el CCA, amb una qualitat determinada que permeti el funcionament de les aplicacions instal·lades, que es definiran al capítol 4.

Capítol 3. Comunicacions de veu: anàlisi de les seves característiques i dimensionat de l'equipament

En aquest capítol s'analitzaran les característiques de les comunicacions de veu que s'estableixen en un CCA, que es fan amb terminals TETRA i amb terminals telefònics. Així mateix, també es durà a terme el seu dimensionat en una situació d'emergència, amb l'objectiu d'obtenir criteris que permetin establir clarament les característiques que ha de tenir l'equipament de veu que s'instal·li en un nou CCA. Per últim, també quin ha de ser l'equipament necessari per a que l'operador que treballi al CCA pugui establir fàcilment les seves comunicacions, tenint com a objectiu que aquest disposi de les mateixes facilitats que quan treballa a un centre de control.

3.1. Comunicacions de veu xarxa RESCAT: tràfic

3.1.1. Introducció

En el moment de la realització d'aquest projecte s'han pogut consultar alguns estudis sobre el dimensionat del tràfic en sistemes PAMR [5] [11], però en cap d'ells es tracten en detall les comunicacions TETRA en un sinistre de grans dimensions, que és on el CCA desenvolupa les seves funcions. A Bombers el gran sinistre més freqüent i que comporta més sortides del CCA és el foc forestal, i aquest serà la referència per a fer l'anàlisi de tràfic. En aquest tipus de sinistre actuen un gran nombre de mitjans repartits sovint en una àmplia zona, i és aquí on el CCA es fa necessari perquè Bombers considera un valor afegit molt important poder dur a terme la coordinació sobre el terreny. Així mateix, en aquestes situacions el tràfic generat a la Xarxa RESCAT augmenta de manera molt significativa i és per això que el seu dimensionat és fonamental per tal d'assegurar un bon GoS (grau de servei). Entenent com a GoS la probabilitat (en %) que un terminal hagi d'esperar més d'un determinat temps per tal de poder iniciar una comunicació. Però el tràfic que es genera no depèn tant del nombre d'usuaris com del model que es segueix per tal d'ordenar les comunicacions. És per això que a l'hora de fer els càlculs també es tindrà en compte l'organització de les comunicacions, explicada a l'Annex 2, de la que cal remarcar que els usuaris s'organitzen en grups de comunicacions. Llavors per realitzar els càlculs es farà un paralelisme entre grup i canal, ja que a un sistema trunking només s'ocupa un canal quan hi ha una comunicació, que a Bombers majoritàriament són de grup. Així doncs, el GoS que es calcularà serà sobre el tràfic generat pels usuaris d'un grup, que serà la probabilitat que un usuari d'un grup de comunicació hagi d'esperar més d'un cert temps a que un altre usuari finalitza la seva comunicació. Finalment, amb aquests càlculs es podran dimensionar els recursos necessaris, tant de terminals TETRA com d'operadors per al CCA.

D'altra banda, en un foc forestal les primeres hores es consideren les més carregades en quant a tràfic, ja que s'intercanvia molta informació sobre l'estat de la incidència per tal d'avaluar els riscos i es mobilitzen els mitjans que es consideren necessaris. Mitjans que s'han de guiar fins al lloc on han d'actuar i

se'ls hi ha d'assignar una funció. Així doncs, tenint en compte que la majoria de comunicacions són de grup, es calcularà el màxim nombre d'usuaris que poden fer servir complint un GoS fixat. I a continuació també es calcularà el mínim nombre de grups que es poden utilitzar en la zona d'un sinistre amb uns determinats recursos de Xarxa, també amb un GoS fixat. Aquests càlculs es faran pel màxim moment d'ocupació, que és al inici del sinistre (hora carregada), i a més es faran diverses simulacions del tràfic generat mitjançant un software cedit per la UPC [8] (veure annex 4).

3.1.2. Tràfic TETRA: situació actual

3.1.2.1. Tràfic generat pels usuaris

Degut a la dificultat que implica fer un càlcul d'aquest tipus, i més en una situació d'emergència on no sempre es segueix un patró de comunicacions, s'ha fet un estudi 'in situ' de les comunicacions. Aquest estudi s'ha basat en la experiència que l'autor del projecte té en el seguiment de focs forestals donant suport en aspectes relatius a les comunicacions. Seguiment plasmat en informes redactats amb detalls sobre les comunicacions: nombre d'usuaris, nombre de grups que s'utilitzaven i nombre de TBS, entre d'altres; i que han estat molt útils per a poder establir les dades de partida. Així mateix també s'ha disposat de gravacions d'àudio de les converses de grup estableties en un foc forestal, on s'ha prestat especial atenció a les primeres hores. L'objectiu que s'ha seguit en escoltar aquestes gravacions ha estat obtenir una mitja empírica del nombre i la durada de les trucades de grup, així com de les comunicacions "típiques" que els diferents usuaris 'tipus' fan en aquestes situacions.

Llavors, amb les dades dels informes, obtingudes a partir de les gravacions, s'han pogut establir les dades de partida, que es poden veure a la taula 3.1. I aplicant a aquestes dades la fórmula 3.1 s'ha obtingut el valor del tràfic generat per cadascun dels membres de Bombers definits com a 'Tipus usuari':

Taula 3.1. Tràfic que generen usuaris en foc forestal típic, en l'hora carregada (trucades de grup i individuals).

Tipus usuari	Nombre d'usuaris	Comunicacions/Hora	Duració [seg.]	Tràfic [Erlangs]	
				Unitari ³	Total
Trucades de grup					
Operadors control	2	80	18	0,400	0,80
Vehicles Bombers	40	10	8	0,022	0,89
Vehicles Comandaments	5	40	12	0,133	0,67
Terminals portàtils	50	-	-	-	-
Mitjans Aeris	6	8	20	0,044	0,27
Parcs implicats	3	3	15	0,0125	0,039
Trucades individuals					
Comandaments	2	1	30	0,01	0,02
Operadors control	2	1	30	0,01	0,02

³ Es calcula per cada usuari i per la totalitat d'usuaris d'aquest tipus en un foc forestal. El primer valor es farà servir a l'hora de fer les simulacions, ja que és pròpiament la taxa d'usuari.

$$A = \frac{M \times L \times H}{3600} [\text{Erlangs}] \quad (3.1)$$

On: A = Tràfic Ofert; M = nombre de terminals actius; L = nombre mig de trucades per terminal en l'hora carregada (suma de períodes de major activitat, fins a totalitzar 60 minuts); H = duració mitja d'una trucada.

Els terminals portàtils no s'han tingut en compte en fer els càlculs, ja que en teoria treballen en Mode Directe. No obstant, en fer l'estudi hem pogut comprovar que algunes comunicacions es fan des de portàtils, tot i que moltes són dels comandaments que no es troben al vehicle, i per tant, ja es compten amb les de comandament. A més, pel que fa a les trucades individuals cal dir que només tenen drets a fer-les els controls i els terminals (cotxes i portàtils) dels comandaments. Tot i que són mínimes, ja que es recomana que en sinistres d'aquesta magnitud el nombre de trucades individuals que es facin siguin les realment imprescindibles.

3.1.2.2. Tràfic generat pels grups de comunicació

En un foc l'assignació de grups es fa en funció de la seva evolució, però es poden distingir clarament dos tipus de grups:

- **Grups de comunicació Operatius o de sector:** són els grups que fan servir els bombers que actuen al sinistre per comunicar-se amb el control, informant de la situació del sinistre i demanant (o no) més recursos per atendre el sinistres. Així mateix, també el fan servir per parlar amb els comandaments, que indiquen a cada vehicle l'acció que ha de dur a terme.
- **Grups de comunicació de Coordinació o de comandament:** són els que estableixen els comandaments amb el control per intercanviar informació, amb els mitjans aeris per coordinar les seves descàrregues d'aigua i els que el control estableix per parlar amb els vehicles que s'estan dirigint cap al foc, ja que si el foc va en augment es fan desplaçar efectius des de comarques allunyades.

Com a l'apartat anterior, a partir de l'experiència i de les escoltes realitzades s'ha generat una divisió en grups, típica d'un foc forestal, que es pot veure a la taula 3.2. En aquesta taula la columna *Utilització* indica el grup de persones que el fan servir, on: *Zona de Foc* són els grups que fan servir els medis que treballen en l'extinció de l'incendi per parlar amb el CCA o el Control; *Coordinació* és el grup que es fa servir per a coordinar actuacions entre els diferents fronts i per coordinar l'actuació dels avions i helicòpters; *Trànsit* és el grup que es fa servir per guiar als mitjans que es dirigeixen cap a la zona del sinistre; *GRAF* és un *Grup de Recolzament d'Actuació Forestal* que es comuniquen mitjançant un únic grup, directament entre sí i amb el seu propi coordinador, situat a un dels centres de control.

Taula 3.2. Grups de comunicació que s'estableixen durant les primeres hores d'un foc forestal.

Tipus grup	Utilització	Quantitat de grups
Operatiu	Zona de Foc	2
Coordinació	Coordinació	1
Coordinació	Trànsit	1
Operatiu	GRAF	1

3.1.2.3. GoS (grau de servei) de la situació actual

En aquest apartat es calcula el GoS que s'obté amb les taxes calculades anteriorment i la distribució actual d'usuaris a grups, per així poder comprovar si és la adequada. Els càlculs s'han fet aplicant la distribució d'Erlang C i tenint en compte el tràfic de les fases inicials del foc (hora carregada). L'ús d'aquesta fórmula, així com la resta de càlculs es justifiquen a l'Annex 4, on també s'explica la fórmula que s'ha fet servir per obtenir el GoS.

Per fer els càlculs es distingeixen diferents fases dintre de les primeres hores d'un foc forestal (les més carregades). A la fase inicial (primera hora) s'ha comprovat mitjançant les gravacions que el nombre mig de trucades de grup és la meitat del calculat a l' hora carregada, i la duració mitja d'una trucada de grup és també inferior. Aquesta consideració s'ha pogut comprovar durant diferents seguiments de focs, on l'intercanvi d'informació en la primera hora es molt reduït perquè la majoria de mitjans es troben en trànsit cap al foc (veure annex 2, fases d'un sinistre). A la taula següent es mostren els resultats obtinguts:

Taula 3.3. GoS per la distribució d'usuaris en la primera hora del foc, distribuïts en un sol grup de comunicació.

Tipus usuari	Operadors	Comandaments	Vehicles Operatius	Mitjans Aeris	Parcs	TOTAL
Nº usuaris	1	1	3	2	2	
Nº mig trucades / hora carregada	40	20	5	4	1	
Duració mitja d'una trucada [seg.]	12	10	8	10	10	10
Tràfic per usuari [Erlangs]	0,13	0,06	0,01	0,01	0,00	-
Tràfic total [Erlangs]	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01	0,25
Nº Grups			1			
Màxima espera			5 segons			
GoS			17,18%			

Durant la segona i tercera hora augmenten una mica el número de mitjans (usuaris), es mantenen les taxes, però es passen a fer servir 2 grups de comunicació (un operatiu i un de trànsit), llavors es comprova que el GoS

obtingut és millor que al cas anterior. Així mateix, s'ha comprovat (amb ajuda de les gravacions) que la duració i el nombre de trucades durant la segona i tercera hora és també el mateix que a la primera hora, i per tant es mantenen les taxes de la primera hora. Els resultats per aquesta "segona fase" es poden veure a la taula 3.4:

Taula 3.4. GoS per la distribució d'usuaris en la segona i tercera hora del foc, distribuïts en dos grups de comunicació.

Tipus usuari	Operadors	Comandaments	Vehicles Operatius	Mitjans Aeris	Parcs	TOTAL
Nº usuaris	1	2	20	4	3	
Nº mig trucades / hora carregada	40	20	5	4	1	
Duració mitja d'una trucada [seg.]	12	10	8	10	10	10
Tràfic per usuari [Erlangs]	0,13	0,06	0,01	0,01	0,00	-
Tràfic total [Erlangs]	0,13	0,11	0,22	0,04	0,01	0,52
Nº Grups			2			
Màxima espera			5 segons			
GoS			5,11%			

Però si el foc augmenta de dimensions, també ho fan el nombre de mitjans (humans i vehicles), i amb ells també ho fa el nombre de comunicacions, així com la seva duració, ja que hi ha més informació a intercanviar. Llavors la taxa de tràfic per usuari passa a ser la calculada per a l'hora carregada (taula 3.1). A més, normalment no s'augmenta el nombre de grups de comunicació que es fan servir, i es mantenen en dos, cosa que fa empitjarar el GoS obtingut, tal i com es mostra a la taula 3.5.

Taula 3.5. GoS per la distribució d'usuaris en les primeres hores del foc, amb un augment significatiu d'usuaris i distribuïts en dos grups de comunicació.

Tipus usuari	Operadors	Comandaments	Vehicles Operatius	Mitjans Aeris	Parcs	TOTAL
Nº usuaris	1	5	40	6	3	
Nº mig trucades / hora carregada	80	40	10	8	3	
Duració mitja d'una trucada [seg.]	18	12	8	20	15	14,6
Tràfic per usuari [Erlangs]	0,40	0,13	0,02	0,04	0,01	-
Tràfic total [Erlangs]	0,40	0,67	0,89	0,27	0,04	2,26
Nº Grups			2			
Màxima espera			5 segons			
GoS			100% (131,03%)			

Llavors, en els propers apartats es farà un dimensionat del nombre d'usuaris, de grups i d'usuaris per grup, amb l'objectiu que les comunicacions compleixin

un determinat GoS. Per fer-ho es partirà d'aquesta darrera situació explicada, perquè és llavors quan el CCA es mobilitza, i perquè serà la situació que es trobaran els usuaris del CCA quan iniciïn les seves funcions.

3.1.3. Dimensionat del nombre de grups i usuaris

L'objectiu final d'aquest apartat és determinar el nombre de terminals TETRA, i d'operadors, necessaris a un CCA.

3.1.3.1. Màxim nombre d'usuaris

Hi ha alguns estudis teòrics sobre el nombre màxim d'usuaris als que es poden donar servei en un Xarxa TETRA, concretament a un d'ells [2] s'arriba a la conclusió que amb una TBS amb 23 canals de tràfic (un únic canal de control (MCCH) i amb 6 portadores) es poden arribar a servir fins a 556 mòbils. Tot i que aquest estudi considera un escenari amb una elevada càrrega de tràfic (“airport scenario”) el nombre de trucades per hora és molt inferior al que es considera en aquest projecte, així com la duració mitja d'una trucada.

En el cas de Bombers, per calcular el nombre màxim d'usuaris a l'hora carregada, es considerarà que totes les TBS de la zona del sinistre tenen terminals registrats de tots els grups que es fan servir. Això implica que, si entre les TBS que donen servei a la zona hi ha una amb una sola portadora, el nombre màxim d'usuaris es veurà limitat. Aquesta limitació ve donada perquè quan un usuari ‘x’ d'un grup ‘A’ registrat a la TBS ‘10’ vol iniciar una trucada de grup, la Xarxa comprova primer si es tenen recursos a la TBS ‘10’. Si no hi han recursos a la pròpia TBS ‘10’ no podrà iniciar la comunicació, però si en té, la Xarxa comprova a més que totes les TBS que tenen usuaris amb el grup ‘A’ seleccionat disposin de recursos (p. ex. TBS ‘20’ i ‘30’). En cas que en una d'aquestes TBS no tinguin recursos lliures, la Xarxa esperarà 2 segons abans de difondre la comunicació de grup per si s'alliberés algun recurs de la TBS ‘20’ o ‘30’. Si no s'allibera cap recurs en els 2 primers segons, s'inicia la difusió de la conversa i, per tant, tots els usuaris que tinguin seleccionat el grup ‘A’ a la TBS sense recursos, no escoltaran la conversa. A més, la resta d'usuaris del grup ‘A’ connectats a altres TBS diferents que si que tenen recursos lliures, es perdran el començament de la transmissió. Aquest fet és més probable que succeeixi en una TBS d'una portadora, i per això, es distingeixen els resultats en funció del nombre de portadores (actualment la Xarxa RESCAT només té TBS de més de 2 portadores a Barcelona ciutat, la resta són de 1 i 2).

A la taula 3.6. es mostren el màxim nombre d'usuaris, calculat partint de les taxes de cadascun dels usuaris tipus, del tràfic màxim que es pot cursar en una TBS d'una portadora o dues portadores (veure annex 4) dividit entre els 5 tipus d'usuaris, fixant un GoS d'un 5% i un màxim temps d'espera de 5 segons. El GoS de servei del 5% és el que recomana l'estàndard TETRA i el temps màxim d'espera de 5 segons és un paràmetre fixat des de Bombers, com un paràmetre de qualitat. Per tant, l'objectiu és que el tant per cent de trucades que hagin d'esperar més de 5 segons no sigui superior a un 5%.

Taula 3.6. Nombre màxim de tipus d'usuaris en hora carregada, en un foc forestal (zona delimitada), en funció de les portadores de les TBS a les que es connecten, amb un GoS d'un 5% i un temps màxim d'espera de 5 segons.

Màxim nombre d'usuaris					
Nombre Portadores	Nº usuaris Operadors	Nº usuaris Comandament	Nº usuaris Vehicles Oper.	Nº usuaris M. Aeris	Nº usuaris Parc
1	2,19	3,28	19,68	9,84	34,99
2	6,12	9,18	55,07	27,54	97,90

3.1.3.2. Mínim nombre de grups de comunicació

En aquest apartat es calcula el nombre de grups necessaris per tal d'absorir el tràfic que s'ha estimat que els usuaris generen a l'hora carregada. Les condicions estableties són les mateixes que per al càlcul del nombre màxim d'usuaris, però sense tenir en compte els recursos disponibles de la Xarxa: GoS del 5 % i temps d'espera màxim de 5 segons. Valors molt restrictius, però que asseguren una perfecta comunicació en els pitjor moments

A la taula 3.7. es mostren els resultats obtinguts per a cadascun dels tipus d'usuari: tràfic total i GoS que s'obté en cas de fer servir només un grup. Així mateix, a la columna total es mostra la suma del tràfic de tots els tipus d'usuaris i la mitja de la duració d'una trucada. Mitja que s'ha obtingut fent la mitja ponderada de les trucades dels diferents tipus d'usuari i, tot i que és un valor elevat, fent-lo servir es sobredimensiona el càlcul del nombre de grups necessaris. El GoS calculat s'obté a partir del tràfic total, de la mitja de la duració de la trucada i del màxim temps d'espera, amb diferents nombres de canals. I finalment és comprova que 5 és el mínim nombre mínim de grups en que s'haurien de repartir els usuaris per a que es pogués cursar tot el tràfic amb un GoS inferior (o igual) a un 5 %, suposant que es disposen de prou recursos de Xarxa (veure consideracions annex 4).

Taula 3.7. Càlcul nº grups de comunicació necessaris amb el tràfic de l'hora carregada.

Tipus usuari	Operadors	Comandaments	Vehicles Operatius	Mitjans Aeris	Parcs	TOTAL
Nº usuaris	1	5	40	6	3	
Nº mig trucades / hora carregada	80	40	10	8	3	
Duració mitja d'una trucada [seg.]	18	12	8	20	15	14,6
Tràfic per usuari [Erlangs]	0,40	0,13	0,02	0,04	0,01	-
Tràfic total [Erlangs]	0,40	0,67	0,89	0,27	0,04	2,26
Màxima espera	5 segons					
GoS amb 1 grup	33,86%	58,02%	82,93%	22,20%	2,72%	100% (347,87%)
Nº grups de comunicació pel GoS ideal (5%)						5

3.1.3.3. Màxim nombre d'usuaris per grup de comunicació

Partint de les dades dels apartats anteriors, l'objectiu d'aquest apartat és obtenir una configuració òptima del nombre de grups que es poden fer servir en un foc forestal i del nombre d'usuaris per grup, amb les condicions de servei establertes (GoS d'un 5% i temps màxim espera de 5 segons). En aquest cas, s'han de tenir molt en compte els recursos de Xarxa, ja que un nombre de canals insuficient a la zona del foc poc provocar cues d'espera, pèrdues de comunicacions o retards al inici de les comunicacions. I precisament per això es distingeixen dues situacions: usuaris connectats a una TBS de 1 o de 2 portadores.

Però també s'ha de tenir en compte que no es poden fer servir tants grups com es vulgui, no només perquè la probabilitat de bloqueig augmentaria (en funció dels recursos de Xarxa disponibles) sinó també perquè un nombre elevat de grups dificultaria la tasca de coordinació. Llavors, es calcularà la configuració del màxim nombre d'usuaris en l'hora carregada, repartint-los en 5 grups, ja que en apartats anteriors s'ha establert com el nombre mínim de grups que s'han de fer servir per a que les comunicacions no es saturin en l'hora carregada. Així mateix també s'inclouen el nombre de trucades individuals que es poden dur a terme (considerant una duració mitja de cadascuna de 30 segons).

Una primera distribució del nombre d'usuaris en els 5 grups 'tipus' es mostra a la taula 3.8. En aquestes distribucions també es té en compte el fet que hi hagi una TBS d'una portadora, factor més limitant, tal i com s'ha explicat a l'apartat 3.1.3.1. Així mateix s'ha intentat mantenir la proporció de l'aportació de cada tipus d'usuari, ja que no tots intervenen d'igual forma.

Taula 3.8. Nombre màxim d'usuaris tipus, distribuïts per tipus de grup, amb tots els usuaris connectats a una TBS de 1 portadora o a una TBS de 2 portadores.

Tipus de Grup	Nº usuaris Operadors	Nº usuaris Comandam.	Nº usuaris Vehicles Operatius	Nº usuaris M. Aeris	Nº usuaris parc	Trucades indiv.	Tràfic total
TBS 1 portadora							
Zona de foc	1	1	11	3	2	0	0,74
Zona de foc	1	1	11	3	2	0	0,74
Coordinació	0	1	0	0	0	2	0,15
Trànsit	0	0	10	1	0	1	0,28
Graf	0	1	7	0	0	0	0,29
TOTAL	2	4	39	7	4	3	2,19
Capacitat disponible si servei de TBS de 1 portadora (3 canals)							0,00
Capacitat disponible si servei de TBS de 2 portadores (7 canals)							3,93
TBS 2 portadores							
Zona de foc	1	2	35	6	3	2	1,57
Zona de foc	1	2	35	6	3	2	1,57
Coordinació	1	4	15	2	0	5	1,21
Trànsit	1	2	25	0	0	5	1,07

Graf	1	2	10	0	0	2	0,71
TOTAL	5	12	120	14	6	16	6,12
Capacitat disponible si servei de TBS de 1 portadora (3 canals)							-3,94
Capacitat disponible si servei de TBS de 2 portadores (7 canals)							0,00

Si es fa el càlcul del nombre de grups de comunicació necessaris pels dos casos anteriors (taula 3.8), fent servir el mateix mètode del apartat 3.1.3.2 (taula 3.7) s'obté que:

- Si hi ha 1 TBS d'una portadora, el nombre de grups de comunicació mínim és de 6 per tal que no es produueixi cap pèrdua o tall.
- Si no hi ha 1 TBS d'una portadora, el nombre de grups de comunicació mínim és de 11.

Però fer servir tants grups no és pràctic ni des del punt de vista operatiu ni tècnic, tal i com s'ha comentat. A més, s'ha pogut comprovar (en informes i gravacions) que en comptades ocasions es fan servir més de 5 grups. Per exemple, el nombre màxim d'usuaris que s'estableix a la taula 3.8 (cas dues portadores) és típic d'un foc forestal de grans dimensions, on els vehicles porten vàries hores treballant al mateix lloc, i on la taxa dels usuaris és molt inferior a la fixada per l'hora carregada. Per tant, es farà una distribució dels usuaris definits inicialment, calculant la seva millor distribució en 5 grups (nombre mínim de grups, calculat a l'apartat anterior). A més, s'ha de tenir en compte que l'usuari operador intervé en tots els grups i, per tant, la seva taxa es pot dividir entre el nombre total de grups. Així mateix, també es dividirà pel nombre de grups en que intervé la taxa del comandament, que també intervé en més d'un grup (operatiu i de coordinació).

A la taula 3.9. es mostra el resultat final del càlcul, on cal remarcar que està fet pel cas que hi hagi una TBS d'una portadora a la zona del foc (es cursa el tràfic màxim que es pot en una TBS d'una portadora amb un GoS d'un 5%, un temps d'espera màxim de 5 segons i un temps mig de servei de 14,6 segons).

Taula 3.9. Distribució òptima del màxim nombre d'usuaris en el mínim nombre de grups (en les primeres hores d'un foc forestal).

Tipus de Grup	Nº usuaris Operadors	Nº usuaris Comandam.	Nº usuaris Vehicles Operatius	Nº usuaris M. Aeris	Nº usuaris parc	Trucades indiv.	Tràfic total
Zona foc 1	1	1	11	3	2	0	0,62
Zona foc 2	1	1	11	3	1	0	0,60
Coordinació	1	2	0	0	0	2	0,23
Trànsit	1	0	11	0	0	2	0,34
Graf	1	1	7	0	0	2	0,39
TOTAL	5	5	40	6	3	6	2,19
Capacitat disponible si servei de TBS de 1 portadora (3 canals)							0,00
Capacitat disponible si servei de TBS de 2 portadores (7 canals)							3,93

3.1.3.4. Conclusions

Llavors, el CCA haurà de poder comunicar-se (escoltar i transmetre) amb un mínim de 5 grups, i per tant l'equipament per a les comunicacions de la Xarxa RESCAT ho han de permetre. Pel que fa al nombre d'operadors necessaris cal dir que els càlculs s'han fet considerant que la duració de les trucades és fixa (i elevada), tot i que realment segueix una distribució estadística (veure annex 4) i, per tant, els càlculs fets estan sobredimensionats. És per això que considerem que 2 operadors poden ser suficients, tenint en compte que en els moments inicials del foc els operadors del control central també intervenen en les tasques de coordinació i gestió del trànsit dels vehicles.

3.2. Comunicacions de veu xarxa RESCAT: cobertura

3.2.1. Situació actual i requeriments

Actualment (estiu 2006) la cobertura està assegurada en un 95 % del territori, però es pot donar la situació que el CCA s'hagi d'ubicar en un lloc on no hi hagi cobertura o bé el nivell del senyal sigui molt baix. En aquest estudi es considera que al CCA sempre hi haurà cobertura de la Xarxa RESCAT, ja que abans d'emplaçar-la aquest serà un requeriment obligatori, tot i que no es pot garantir un bon nivell de senyal. En aquest cas es possible que l'establiment de les comunicacions sigui difícil i per tant, també es compliqui la tasca dels operadors del CCA.

Així mateix, els terminals TETRA del CCA fan servir antenes instal·lades al sostre del vehicle, i en cas que el nivell de senyal de Xarxa sigui baix⁴, els terminals es connecten a antenes col·lineals que s'instal·len en màstils a l'exterior del CCA, i que tenen 6 dBd de guany (les antenes del vehicle tenen un guany inferior). Tot i que amb aquesta solució es poden cobrir algunes situacions, s'ha de tenir en compte que les antenes s'haurien d'aïllar convenientment per tal que no s'interfereixin entre sí. Aquest aïllament s'aconsegueix augmentant la separació entre les antenes, tant vertical com horitzontal, fet que dificulta la seva instal·lació al voltant d'un CCA a on la circulació de persones i vehicles és molt elevada.

Per tant, s'ha de contemplar un possible situació de deficiència de senyal i incloure a l'equipament del CCA les possibles solucions a aquest problema, solucions que s'analitzaran a l'apartat 3.2.2. Actualment al mercat existeixen diverses solucions per a millorar la cobertura en una Xarxa TETRA, bé ampliant directament la cobertura de Xarxa o bé amb "passarel·les" (gateway) entre el Mode Directe i el Mode Xarxa. Així mateix, l'ampliació de cobertura es pot fer mitjançant una TBS "portàtil" que es connectaria a la Xarxa mitjançant un enllaç via satèl·lit. Aquestes solucions però, també poden ser útils a la zona de foc i, per tant, com el CCA s'emplaça a prop de la zona de foc es podria fer servir en cas que fos necessari.

⁴ Es considera nivell baix a potències inferiors als -80 dBm. Tenint en compte que la no cobertura es dóna a partir de valors inferiors als -105 dBm.

3.2.2. Solucions per ampliar cobertura TETRA

Per millorar la cobertura del terminals TETRA del CCA, a més de l'ús d'antenes exteriors existeixen d'altres solucions que es descriuen a continuació i que a l'apartat A1.3.4 s'esquematitzen en diagrames de funcionament.

3.2.2.1. TMO Repeater

També conegut com a ampliador de cobertura, es caracteritza per la capacitat de repetir una o varíes portadores d'una TBS treballant amb la mateixa freqüència de recepció (RX) i transmissió (TX). Una descripció simple del TMO Repeater també és la d'un equip que rep, amplifica i reenvia el senyal de Radio Freqüència (RF) procedent d'un TBS o d'un terminal TETRA.

Aquest equip es pot fer servir tant en interiors (edificis o túnel, p. ex.) com en exteriors. En exteriors l'equip es fa servir per a estendre la cobertura d'una TBS a una zona on la cobertura de Xarxa sigui nul·la o deficient. La majoria de vegades aquest problema es a causa per l'orografia del terreny, que atenua en gran mesura els senyals procedents de les TBS, fet que es dóna en alguns focs forestals. Tot i que teòricament la seva utilització sembla senzilla, a la pràctica presenta limitacions que fan que no sempre funcioni correctament:

- La principal és la de l'aïllament⁵ entre les antenes del ampliador, que en el cas del ampliador ha de ser 10 a 15 dB major que la del seu guany. Aquest valor, que el donen els fabricants (*Avitec, Aerial Facilities*, per exemple), en la majoria de casos es difícil d'aconseguir, ja que cal una separació vertical de més de 5 metres entre antenes (o posar un obstacle entre elles). En cas que sigui inferior, l'ampliador es "realimentarà", entrerà en estat d'oscil·lació i es tornarà inestable.
- Un altre problema que podria aparèixer en exteriors es si en un determinada zona arriba un senyal de freqüència 'x' de la TBS 'A', amplificat, i a la mateixa zona també arriba el mateix senyal de freqüència 'x' però directament des de la TBS 'A'. El problema apareix quan la diferència entre el nivell de potència que es rep del ampliador i la de la TBS és inferior a 19 dB (relació C/I mínima exigida a l'estàndard TETRA). En aquest cas es pot produir el bloqueig dels terminals, perquè al terminal TETRA li arriben dos senyals de igual freqüència i amb nivell de potència similar, i un d'ells seria interpretat com a interferència.

En general, l'ampliador no es considera una solució òptima per a exteriors, tot i que en cas de necessitat temporal de cobertura en zona ben delimitada (zones d'orografia abrupte) podria ser una bona solució. En proves fetes en un escenari on la cobertura era molt deficient [9] es confirma aquesta afirmació, ja que es mostra que es millora el nivell. Nivell que per a un terminal mòbil, que es munta als vehicles, és suficient pel seu correcte funcionament. Llavors, al CCA

⁵ Definició aïllament d'antenes: donades dues antenes d'un "ampliador", una que rep i una altre que transmet, l'aïllament és la diferència entre la potència de la senyal que transmet una antena i la potència amb la que aquesta mateixa senyal es captada per l'altre antena.

es pot plantejar el seu ús, sempre que es compleixin les circumstàncies abans esmentades. A la taula 3.10. es mostren els resultats mesurats a dos punts diferents, amb l'ampliador engegat o no [9]:

Taula 3.10. Prova amb ampliador de cobertura en dos punts exteriors donats.

Punt de mesura	Nivell de potència rebuda	
	TMO Repeater OFF	TMO Repeater ON
A (allunyat del ampliador)	Sense cobertura	-89 dBm
B (distància mitja entre A i el ampliador)	-98 dBm	-78 dBm

3.2.2.2. DMO Repeater/Gateway

A continuació es descriuen d'altres solucions per millorar la cobertura:

- El DMO Gateway és un dispositiu que permet a terminals amb el Mode Directe (DMO) seleccionat realitzar comunicacions en Mode Troncal (TMO).
- El DMO Repeater és un terminal que funciona com a repetidor del Mode Directe. És a dir, rep una portadora de Mode Directe i retransmet la mateixa o una altra (segons el tipus de DMO Repeater que sigui) amb una potència de sortida constant, regulable per l'usuari.
- El DMO Repeater/Gateway és la combinació d'un DMO Gateway amb un DMO Repeater. D'aquesta manera es pot estendre la cobertura en Mode Directe (DMO Repeater) i fer que els mateixos terminals que parlen en Mode Directe ho facin en Xarxa (mode trunking). Actualment al mercat no existeix cap producte que faci aquesta funció, tot i que està recollit a l'estàndard TETRA.

Aquestes solucions només fan servir una antena, i, per tant el problema de l'aïllament desapareix. Però també presenta limitacions:

- La principal és que en Mode Directe no es disposen de les mateixes funcionalitats que en Mode Troncal. Per tant, els terminals que fan servir el Gateway i tenen el Mode Directe seleccionat, no disposen de la possibilitat d'establir trucades individuals ni establir comunicacions de dades.
- L'altra limitació és que en el moment de la redacció d'aquest projecte, cap dels terminals comercials que s'han pogut provar, i que poden funcionar com a DMO Gateway/Repeater, no ho fan del tot de manera correcta. Tot i que hi ha diversos fabricants treballant en el desenvolupament de terminals DMO Gateway/Repeater (*Sepura* i *Cleartone* entre d'altres).

Llavors, tot i que es podria contemplar el seu ús al CCA per a comunicar grups de bombers que treballin en Mode Directe, no es considera útil per als usuaris propis del CCA (operadors, coordinadors, etc.).

3.2.2.3. Altres solucions: TBS mòbil

A més de les solucions esmentades existeix la possibilitat d'instal·lar una TBS "portàtil" i fer servir un enllaç via satèl·lit per tal de connectar-la amb la resta de la Xarxa. Però aquesta solució no es considera útil per al CCA, ja que el seu temps de posada en marxa és major que el de les altres solucions i els recursos necessaris (de personal i econòmics) són molts. A més, es considera prioritari el seu ús per a cobrir les zones d'actuació dels bombers, i no pas al CCA, ja que els bombers igualment podrien parlar entre ells i tindrien la possibilitat de parlar amb operadors d'un control central. Per tant, no es tindrà en compte la seva possible inclusió al CCA.

3.3. Comunicacions telefòniques

En els dos següents apartats es tractaran els aspectes referents a les comunicacions de tipus telefònic clàssic, plantejant les possibles solucions per cobrir les seves necessitats.

3.3.1. Situació actual i requeriments

Actualment al CCA disposen de 2 terminals telefònics, connectats mitjançant dos enllaços GSM, cadascun d'ells d'una Operadora diferent. No obstant, el fet que es depengui de la cobertura GSM fa que s'hagin de plantejar d'altres alternatives, ja que no hi ha cobertura GSM al 100% del territori. Per tant, com a requeriment bàsic per les comunicacions telefòniques es fixarà la disponibilitat al major percentatge possible del territori. A més, també s'ha de tenir en compte que en una situació d'emergència molts dels sistemes comercials es poden col·lapsar i és en aquestes situacions quan han d'actuar els bombers. Llavors, la disponibilitat també serà un dels paràmetres a tenir en compte.

D'altra banda, el nombre de terminals disponibles per a fer/rebre trucades ha de ser igual al del nombre d'usuaris operadors que treballin al CCA. Així mateix també s'hauran de contemplar solucions alternatives que assegurin l'establiment de les comunicacions en cas de fallada del sistema implementat. A més, sempre s'haurà de disposar d'una línia lliure, on es pugui rebre trucades per tal que des del control es pugui contactar amb el CCA, tot i que la resta de línies estiguin ocupades.

3.3.2. Solucions per comunicacions telefòniques

Actualment existeixen diverses solucions per a establir comunicacions telefòniques sense haver d'estar connectat a un bucle d'abonat físicament. Pel CCA es plantejaran solucions amb enllaços inalàmbrics, ja que només es podrà disposar d'una connexió amb una línia telefònica i/o ADSL quan el CCA s'ubiqui al costat d'un edifici públic (ajuntament, escola, etc). Tot i que aquesta possibilitat de connexió a una línia existent també es tindrà en compte. Per

últim, tot i que per la solució actual no es tindrà en compte, s'hauria de considerar la possible inclusió d'una centraleta com a opció de futur.

3.3.2.1. Telefonia mitjançant els terminals TETRA

Els terminals TETRA també poden realitzar trucades telefòniques de tipus fulldúplex, tot i que en fer-les s'ocupen dos canals d'una TBS. Aquest fet és una clara limitació, ja que si a la zona on es fan les trucades hi ha pocs recursos de Xarxa lliures, es pot perjudicar a les comunicacions de grup entre bombers, que són les més importants. Llavors, no es pot prendre com una solució, tot i que es pot tenir en compte com a solució de *backup*.

3.3.2.2. Telefonia mòbil (GSM)

És la solució que actualment es fa servir al CCA, amb dos adaptadors per a telèfons convencionals i que fan servir targetes SIM de dos dels tres operadors de GSM. El seu ús al CCA presenta alguns inconvenients i algunes avantatges:

- *Inconvenients*: la cobertura de les xarxes de telefonía mòbil no és global i, per tant, no es pot assegurar a totes les possibles ubicacions del CCA. A més, en ser una xarxa pública és pot col·lapsar en moments d'emergència, que és quan treballen bombers.
- *Avantatges*: possibilitat d'utilització de telèfons “convencionals” de sobretaula mitjançant la connexió de dispositius on es posa la targeta SIM i que es pot controlar des d'un PC. A més, la seva instal·lació i el seu ús és senzill.

3.3.2.3. Telefonia via satèl·lit

L'ús de connexions via satèl·lit ofereix una disponibilitat geogràfica total, ja que la cobertura teòrica és global. El seu ús per a les comunicacions de veu es podria dur a terme de diferents formes:

- Fent servir telèfons que es connecten a través de diferents proveïdors com *Iridium*, *Globalstar* o *Immarsat*. Hi han alguns que tenen l'aspecte de mòbils convencionals o bé es poden fer servir mitjançant un telèfon convencional.
- Fent servir un canal d'un possible enllaç via satèl·lit que s'instal·li al CCA, ja que molts dels equipaments ho inclouen.

No obstant això, aquesta solució té alguns inconvenients, com per exemple:

- Possible retard en les comunicacions, que varia en funció del tipus de satèl·lit i la seva configuració.
- Necessitat d'estar en una zona totalment descoberta i, en cas d'estar en interiors, s'hauria d'instal·lar una antena exterior.
- Econòmicament es la menys assequible de totes les opcions que es presenten en aquests apartats.

3.3.2.4. Telefonia IP (VoIP)

Aquesta opció és basa en l'ús dels enllaços dels que disposi el CCA per a dades: connexió a una línia ADSL física ó un possible enllaç via satèl·lit. La telefonía IP el que fa és convertir la veu en paquets de dades i enviar-los sobre una xarxa IP. Per a implementar-la, a més dels terminals finals (telefons) fa falta un equipament intermedi que permeti la connexió d'aquests amb les centraletes de Bombers.

Són moltes les solucions existents al mercat, on fins i tot hi ha centraletes IP, però la compatibilitat amb l'equipament ja existent (centraletes digitals p.ex.) no sempre està assegurada. A aquest inconvenient cal afegir que en una xarxa IP la QoS és molt difícil d'assegurar i per tant, el retard i l'ample de banda necessaris per a poder establir comunicacions de qualitat no sempre es poden assegurar.

3.4. Equipament del lloc d'operador

L'objectiu d'aquest apartat és analitzar els diferents equipaments d'operador que permeten integrar les comunicacions de veu (Xarxa RESCAT i telefonía) en una única interfície, de manera que l'operador les pugui fer servir fàcilment sense perdre qualitat d'àudio en les comunicacions.

3.4.1. Situació actual i requeriments

L'equipament del que es disposa al CCA actual dista de ser igual al que els operadors disposen a la sala del control. La principal diferència és la interfície d'usuari amb la Xarxa RESCAT, ja que al control es disposa d'una aplicació software (DWS⁶, veure apartat 3.4.2) que es fa servir en un PC de sobretaula i que permet a l'operador tenir organitzats els grups en forma de "finestres". Això li permet visualitzar fàcilment qui és el seu interlocutor, a més de disposar d'informació addicional sobre l'estat dels diferents terminals, com per exemple: si estan engegats o no, el grup que tenen seleccionat, la TBS a la que estan connectats o si es troben en una trucada individual. Així mateix, l'operador pot escoltar i parlar simultàniament pels grups de la Xarxa RESCAT que decideixi, i ho pot fer amb diferents tipus d'accessoris d'àudio, com per exemple: auriculars (amb micròfon incorporat), altaveu de sobretaula i micròfon de sobretaula. A més, l'operador pot regular i anular els diferents accessoris de manera directa i senzilla.

D'altra banda, als controls s'ha integrat l'àudio del terminals telefònics amb el de la Xarxa RESCAT, de manera que des dels auriculars un operador pot dur a terme totes les comunicacions (telefòniques i de ràdio). Aquesta integració s'ha fet mitjançant una placa hardware que es va fer a mida, tot i que existeixen solucions comercials que poden ser una solució per al CCA. En canvi, al CCA només està integrat l'àudio per als terminals TETRA, de manera que un

⁶ DWS: Dispatcher Workstation. Software que s'instal·la en un PC i que permet establir a un operador comunicacions amb tots els grups de la Xarxa, a més de fer trucades individuals i poder comprovar l'estat dels diferents usuaris.

operador pot fer servir uns auriculars per a parlar i escoltar només a través de 3 terminals TETRA. Aquesta adaptació també s'ha fet a mida, i inclou una consola amb 3 botons que serveixen per a fer PTT a cadascun dels terminals (al DWS el PTT es fa amb el ratolí del PC sobre la finestra corresponent al grup).

Amb totes les puntuatitzacions fetes, els requeriments per l'equipament d'operador es poden resumir en els següents punts:

- Possibilitat de dur a terme les trucades telefòniques i les comunicacions amb la Xarxa RESCAT mitjançant una única interfície, com per exemple uns auriculars.
- Integració de totes les aplicacions necessàries en un únic PC: aplicació de gestió d'incidències, aplicació de SIG (sistema d'informació geogràfica) que permet fer un seguiment dels diferents vehicles i aplicació tipus DWS, que faciliti a l'operador la visualització dels grups (identitat de qui truca) i la seva activació (fent PTT amb el mateix ratolí del PC).
- Els terminals de telèfon que es facin servir han de ser "convencionals" i es valorarà la possibilitat d'interacció amb el PC, per tal de poder tenir una agenda o algun tipus d'aplicació que faciliti la gestió.
- Existència de dispositius d'àudio auxiliars que permetin continuar amb les comunicacions en cas de fallada de la interfície principal (altaveus independents, micròfons, etc).
- Possibilitat de disposar de terminals telefònics inalàmbrics que permetin fer trucades des de les sales annexes a les tendes de campanya, com per exemple terminals DECT.

Finalment, a la següent figura es mostra un lloc d'operador d'un control de Bombers, on es poden veure tots els elements que la integren i que pot servir per a entendre millor els requeriments del CCA.

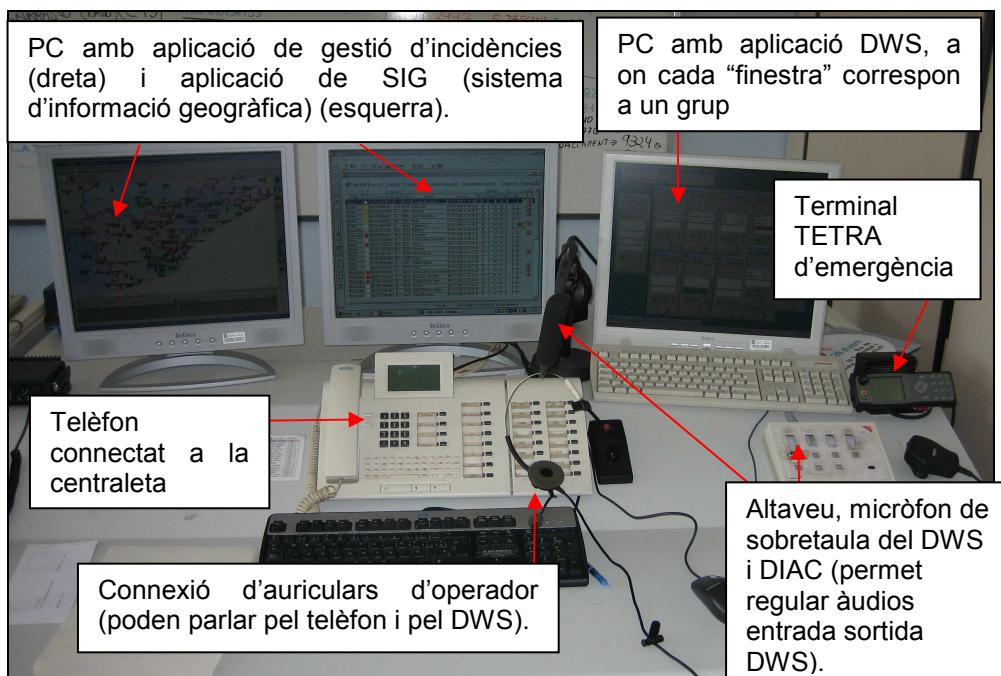


Fig. 3.1. Visió general d'un lloc d'operador d'un control central de Bombers.

3.4.2. DWS (Dispatcher WorkStation)

Aquesta aplicació és propietària i es pot fer servir per a establir comunicacions de veu (de grup i/o individuals), per a gestionar usuaris i recursos (assignació de TBS a grups p.ex.) o per les dues coses alhora. Aquesta aplicació es pot instal·lar en un PC de sobretaule (afegint unes targetes PCI) i es pot connectar amb el commutador de la Xarxa de dues formes: mitjançant una línia RDSI o mitjançant un enllaç E1 (2Mbps).

Pel cas concret del CCA caldria disposar de l'opció de comunicacions de veu, és el que tenen els operadors al seu control. En canvi, la millor opció de connexió seria mitjançant una línia RDSI, tot i que amb aquesta es té la limitació que el nombre màxim de grups amb que es poden comunicar al mateix temps (escoltar o parlar) és de: 2 (amb una connexió 1B+D) ó 10 (amb una connexió 2B+D), mentre que amb una connexió E1 el nombre de grups màxim és de 16. Cal dir que la connexió 2B+D tindrà una velocitat total de 192 Kbps, ja que consistiria en dos canals B full dúplex (de 64 Kbps), un canal D full dúplex (de 16 Kbps) més alguns bits addicionals de sincronització, divisió en trames, etc. En canvi, la connexió 1B+D serien 64 Kbps del canal B, més els 16 Kbps del canal D, més els bits addicionals. Per tant, la seva inclusió al CCA dependrà de la capacitat de l'enllaç de dades que es pugui establir.

Per últim, també cal tenir en compte la possibilitat de disposar només de l'opció de gestió (d'usuaris i grups), ja que per implementar-la només cal un PC amb una connexió de dades proporcionada per un terminal GSM o una connexió IP mitjançant un terminal TETRA. Per tant, no necessita tant ample de banda com l'opció de DWS de veu.

3.4.3. Solucions integradores de TETRA i telefonia

Actualment existeixen solucions comercials que integren l'àudio del terminals TETRA i el de la telefonia, i que podrien aplicar-se al CCA. Tot i que la solució ideal seria replicar exactament el mateix equipament que hi ha en el control, al CCA actual la limitació del ample de banda de les connexions de dades ho fa impossible. Aquestes connexions (GPRS) són de baixa capacitat i no asseguren QoS per a que puguin funcionar equipaments com el DWS. Per tant, la recerca de solucions ha d'estar orientada a aquella que menys ample de banda necessiti, però complint els requeriments esmentats a l'apartat 3.4.1.

En el moment de realitzar aquest projecte s'han pogut veure dues solucions comercials: el sistema *GEMYC* de *Fedetec* i el *Sistema de Consola Digital DCS-5020* de *Zetron*. Tots dos integren l'àudio de terminals telefònics i de àudio, i les seves característiques es poden resumir en els següents apartats:

- **DCS-5020 de Zetron:** aquesta solució, a més d'integrar ràdio i telefonia, permet dur a terme la gestió de les trucades des d'una única interfície gràfica d'operador. El sistema suporta fins a 6 posicions d'operador connectades entre sí i fins a 20 ports d'entrada/sortida assignables a línies telefòniques o de ràdio TETRA. La posició d'operador consistiria en un

software que es pot instal·lar en qualsevol PC, i que té una interfície gràfica d'usuari que presenta en forma d'ícones i finestres els canals telefònics, els grups TETRA i les possibles funcions del sistema. Aquesta solució es pot integrar fàcilment, ja que la disposició de cadascun dels controls es configurable per l'usuari, de manera que l'operador pot disposar de la interfície d'àudio a la mateixa pantalla a on tingui l'aplicació SIG, per exemple. Per últim, cal afegir que ofereix diferents accessoris d'àudio: auriculars amb micròfon, altaveu exterior i micròfon exterior. Un esquema d'aquesta solució es mostra a la figura 3.2.

- **GEMYC de Fedetec:** aquest producte es presenta com una plataforma que integra les comunicacions i la gestió de les emergències per a centres de control. Esta composta per tres mòduls, que poden funcionar de forma independent o integrats entre sí: mòdul d'integració de les comunicacions, mòdul de despatx (gestió de les emergències) i mòdul de cartografia i posicionament. Però pel CCA de Bombers només es necessària la part d'integració de les comunicacions, ja que la resta d'aplicacions ja estan resoltos amb aplicacions pròpies, que tractarem al capítol de dades (capítol 4). El mòdul integrador de comunicacions ofereix una interfície gràfica única per l'operador, on es té accés a tots els sistemes disponibles al CCA: terminals TETRA i telefonia, incloent la possibilitat de l'ús de VoIP. A més, l'àudio també està integrat i es pot fer/rebre trucades des de diferents accessoris (microauriculars, micròfon extern amb PTT i altaveus externs). Així mateix, cal afegir que inclou gravació integrada i un mòdul d'anàlisi estadístic de les comunicacions. A la figura 3.3. es mostra un esquema d'aquesta solució.

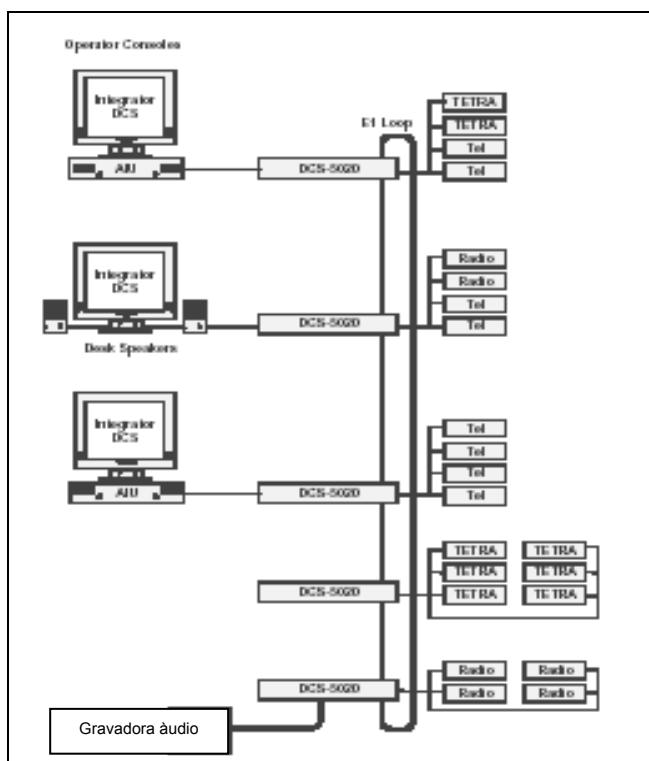


Fig. 3.2. Esquema de funcionament de la solució DCS-5020 de Zetron [14].

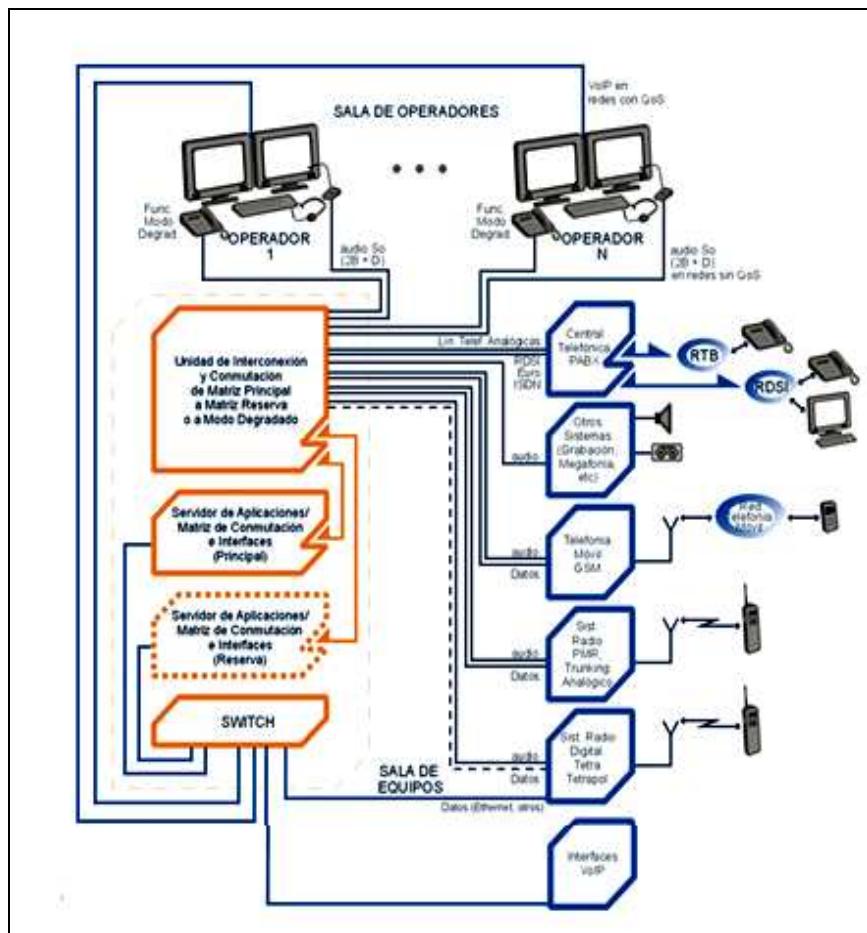


Fig. 3.3. Esquema de funcionamiento de la solució GEMYC de Fedetec [15].

Capítol 4. Comunicacions de dades: dimensionat dels recursos necessaris i anàlisi de l'enllaç a establir

En aquest capítol s'analitzaran les necessitats del CCA pel que fa a les comunicacions de dades. A més, com que el CCA s'ha de poder establir a qualsevol punt de la geografia, l'enllaç de dades s'haurà de poder adaptar a totes les situacions: connexió a un punt d'accés fix (ADSL d'un ajuntament, d'una escola, etc.), connexió a un punt fix llunyà (mitjançant un enllaç Wi-Fi per exemple) i connexió sense fils. D'aquesta darrera opció s'estudiaran les tecnologies que 'a priori' es considerin adequades per al CCA: GPRS, UMTS, satèl·lit, TETRA i Wimax. Per últim s'exposaran els resultats de les proves fetes amb l'equipament que s'ha disposat per fer servir alguna de les tecnologies estudiades.

4.1 Recursos necessaris per les comunicacions de dades

Per definir els recursos necessaris per a establir les comunicacions de dades, cal analitzar les necessitats del CCA. Necessitats que vénen donades per les aplicacions que es fan servir al CCA: una per la gestió d'incidències i una altre de localització de vehicles. Tot i que al CCA actual aquestes aplicacions s'han provat d'adaptar als enllaços disponibles, reduint les seves funcionalitats, no és possible fer-les servir igual que a un centre de control. Cal recordar que els enllaços del CCA actual són de velocitats relativament baixes (GPRS, 9,6 Kbps), comparades amb la dels enllaços que es disposen als controls (línes de fibra òptica o radioenllaços amb capacitat per a circuits de 2 Mbps, E1). Per tant, a continuació s'estudien les característiques de les aplicacions que s'han de fer servir al CCA, per així poder establir els requeriments del enllaç a establir i així assegurar el seu correcte funcionament. Funcionament que hauria de ser igual al de control, ja que un dels objectius d'aquest projecte és que el CCA disposi de les mateixes eines que a un centre de control.

4.1.1 Aplicació de gestió d'incidències

A cada lloc d'operador es disposa d'una aplicació per a la gestió d'incidències, on l'operador introduceix i consulta les dades referents als sinistres on intervenen bombers. Aquesta aplicació és accessible des de qualsevol centre de control, ja que l'aplicació es troba centralitzada en uns servidors amb un sistema d'administració Oracle (base de dades relacional). Per tant, es poden gestionar les dades relacionades amb qualsevol sinistre des de qualsevol PC amb l'aplicació instal·lada i amb connexió amb els servidors. Aquesta connexió es fa a través dels enllaços disponibles als centres de control, que com a mínim són de 2Mbps, i que són suficients per al correcte funcionament de l'aplicació al llocs d'operador. Així mateix, també es disposen d'enllaços de *backup* (*Frame Relay*, a 128 Kbps) sobre els que el temps de resposta de les peticions al servidor evidentment és superior. Per tant, el nombre d'aplicacions simultànies que es poden fer servir sobre aquest tipus d'enllaç és molt reduït, però fins a 2

operadors poden treballar sense problemes fent servir l'aplicació de localització de vehicles i la de gestió d'incidències.

Però d'aquesta aplicació no es disposen de dades concretes sobre el ample de banda mínim necessari per al seu correcte funcionament, ni tampoc del retard màxim, que són dos dels paràmetres més importants. Per això s'ha monitoritzat el funcionament de l'aplicació en un PC concret de control connectat directament a la LAN on estan els serveis. D'aquesta manera el funcionament de l'aplicació no es veu limitat pel tipus de connexió i es pot comprovar fàcilment les dades que s'intercanvien. Per a fer aquesta monitorització s'ha utilitzat el “monitor de sistema” inclòs al propi Sistema Operatiu (Windows 2000), que gairebé no consumeix recursos del sistema i que es fa a través de la targeta de Xarxa del propi PC. A la següent gràfica es mostren els resultats d'alguna de les monitoritzacions.

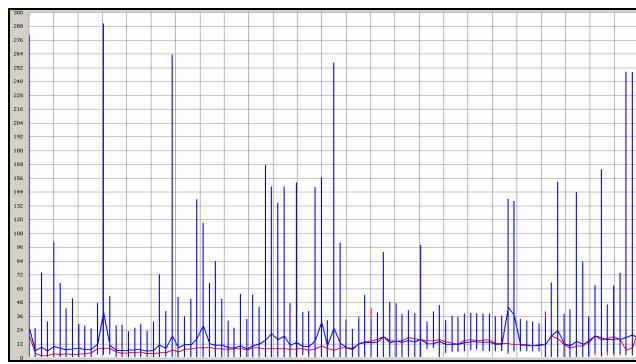


Fig. 4.1. KBytes/s enviats/rebuts d'un PC executant només l'aplicació de gestió (blau: bytes rebuts; vermells: bytes enviats) en un període d'activitat de 6 h.

Dels resultats obtinguts de totes les monitoritzacions fetes es desprèn que el flux de dades varia en funció de les lectures/escriptures que es fan des de l'aplicació. Tot i que contínuament es van rebre dades, ja que quan qualsevol operador introduceix una incidència, la resta d'usuaris reben un avís del servidor. Les monitoritzacions s'han fet en intervals de temps diferents, intentant capturar els moments de màxima activitat, que sol ser entre les 12 i les 19 hores. Com a resultat final s'han extret diferents intervals de valors, amb cotes màximes de 252 KBytes/s enviats i 604 KBytes/s rebuts, i amb mitges de 2,5 KBytes/s enviats i 10,7 KBytes/s rebuts.

D'altra banda, també s'han fet proves amb centres de control connectats als serveis de l'aplicació de gestió mitjançant enllaços de 2Mbps (tributaris de radioenllaços o d'enllaços de fibra òptica). Els resultats varien respecte als obtinguts al cas anterior, ja que la majoria d'aquests funcionen mitjançant l'ús d'una aplicació de tipus “Terminal Server” (concretament Citrix). Les aplicacions “Terminal Server” permeten que l'aplicació s'executi directament al servidor, i que a través de l'enllaç només s'enviïn les variacions de la “pantalla” de l'aplicació i les ordres que el client envia a través del seu teclat i ratolí. Això permet que el flux de dades que s'intercanvia entre client i servidor sigui inferior

a si s'intercanviessin totes les dades. Aquest fet s'ha pogut comprovar en les monitoritzacions fetes, una de les quals es mostra a la següent gràfica.

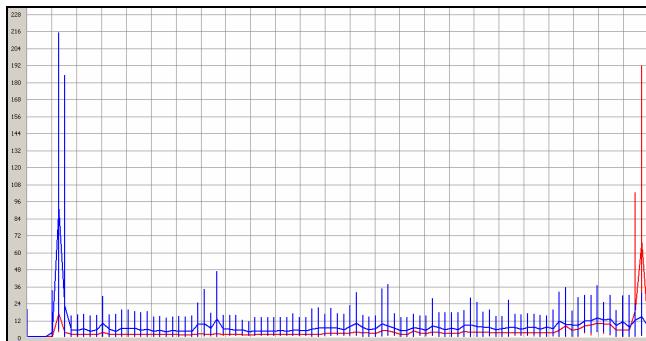


Fig. 4.2. KBytes/s enviats/rebuts d'un PC executant només l'aplicació de gestió d'incidències mitjançant una aplicació de tipus "Terminal Server" (blau: KBytes/s rebuts; vermells: KBytes/s enviats) durant un període de 6 hores.

A les monitoritzacions fetes es pot veure que el flux de dades enviades és inferior a l'aplicació funcionant sense "Terminal Server", amb una cota màxima de 192,1 KBytes/s. Així mateix, els bytes rebuts són significativament inferiors en el cas del "Terminal Server" (cota màxima de 215,4 KBytes/s), ja que només es reben els canvis a la pantalla de l'aplicació, i no pas les dades. A més, els valors mitjans obtinguts són de 4 KBytes/s enviats i 7,4 KBytes/s rebuts, tot i que en aquest cas aquests valors no són indicatius perquè poden variar en funció de la activitat que hi hagi en el període de monitorització.

Per tant, sembla que l'ús d'una aplicació "Terminal Server" pot millorar el rendiment de l'aplicació de gestió d'incidències, quan aquesta funciona a través d'enllaços de baixa capacitat.

4.1.2 Aplicació de localització de vehicles

Aquesta aplicació també està instal·lada a cadascun dels llocs d'operador i permet tenir localitzar en temps real tots els vehicles de bombers i els terminals portàtils TETRA que porten un mòdul GPS incorporat. Aquesta aplicació pot funcionar mitjançant els enllaços de dades propis dels centre de control o bé mitjançant la connexió amb un terminal TETRA, tal i com s'explica a l'annex 3 (secció A3.2), annex on també s'amplia la informació referent al funcionament d'aquesta l'aplicació. Cal destacar que al igual que l'aplicació de gestió d'incidències, tota la informació es troba centralitzada en un servidor, des de on reben les dades les aplicacions clients (posicions GPS actualitzades dels vehicles, actualitzacions de base de dades d'objectes,...). Així mateix, des de les aplicacions dels clients també es poden realitzar consultes al servidor, tot i que bona part de la informació s'emmagatzema en la pròpia màquina des de la qual s'executa (per exemple els mapes, la informació de punts del mapa, etc.).

Amb aquesta aplicació també s'han dut a terme monitoritzacions de la interfície de xarxa per tal de determinar el flux de dades que l'aplicació client intercanvia

amb la del servidor. I com es pot veure a la següent figura, l'aplicació rep dades amb una periodicitat de 10 segons, que principalment són les posicions GPS dels vehicles, tot i que cada minut es realitza una consulta dels canvis a les bases de dades dels objectes. L'enviament de dades en canvi és inferior, tot i que quan hi ha un incident greu (per exemple un foc forestal) els operadors sí que envien dades, que poden consultar tots els usuaris que tenen accés a l'aplicació. Aquest canvi es rebrà com una actualització d'una base de dades, que normalment ocupa uns 110 KBytes aproximadament.

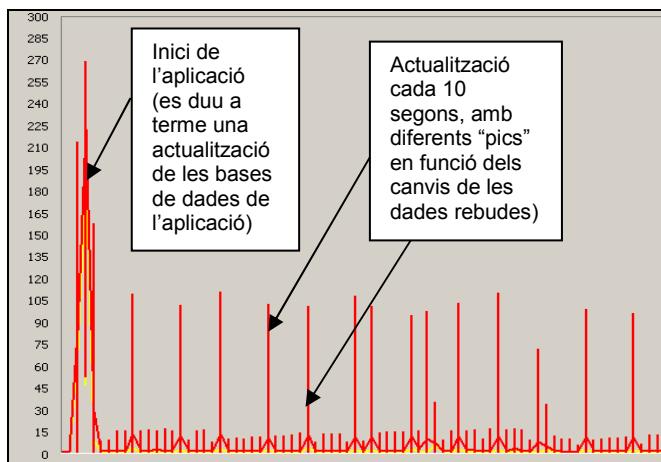


Fig. 4.3. KBytes/s enviats/rebuts per segon d'un PC executant només l'aplicació de localització de vehicles (vermell: bytes rebuts; groc: bytes enviats), en un interval de molta activitat (de 150 a 200 vehicles).

De la gràfica anterior es poden extreure les diferents cotes del flux de dades: com a cotes màximes s'han obtingut 270 KBytes/s rebuts i 225,4 KBytes/s enviats, amb un promig de 8,2 KBytes/s rebuts i 4,9 KBytes/s enviats. I per últim, cal recordar que aquesta aplicació pot funcionar mitjançant la connexió del PC a un terminal TETRA (veure annex 3), tot i que en aquest cas no es poden fer servir totes les utilitats que ofereix.

4.1.3 Gestió usuaris TETRA

Es tindrà en compte la possibilitat de disposar de l'opció de gestió (d'usuaris i grups), ja que per implementar-la només cal un PC amb una connexió de dades proporcionada per un terminal GSM o una connexió IP mitjançant un terminal TETRA. Aquesta no necessita tant ample de banda com l'opció de DWS de veu, tal i com s'explica a l'apartat 3.4.2.

4.1.4 Altres aplicacions

Tot i que les dues aplicacions anteriors són les imprescindibles, també s'hauria de tenir en compte la possibilitat d'incloure d'altres com el correu electrònic o la possibilitat d'enviar/rebre imatges i/o streaming de vídeo. D'altra banda també

s'han de tenir en compte les variacions de les aplicacions anomenades imprescindibles, que permeten que aquestes funcionin amb enllaços de velocitat inferior: ús d'un servei "Terminal Server" per a l'aplicació de gestió de dades, i ús d'un terminal TETRA per a rebre les dades referents a l'aplicació de localització de vehicles.

4.2 Connexió de dades pel CCA: requeriments i options

A partir de les dades obtingudes als apartats anteriors es podrien establir els requeriments mínims de la connexió, que són de 270 KBytes/s de recepció i 225,4 KBytes/s de transmissió, valors que corresponen a les cotes màximes de l'aplicació de localització de vehicles, que són majors que les cotes màximes de l'aplicació de gestió funcionant amb "Terminal Server". Però tenint en compte que a la pràctica s'ha comprovat que amb una connexió *Frame Relay* dos operadors poden fer servir les dues aplicacions de manera correcta, els 128 Kbps d'aquest tipus de connexió seria la velocitat mínima a exigir a una connexió del CCA. A més, aquesta afirmació es pot corroborar si es tenen en compte les velocitats mitges de les dues aplicacions, que sumades no superen els 128 Kbps. Tot i que en moments de màxima activitat aquesta velocitat pot ser superior, i per això caldria una velocitat superior als 128 Kbps.

D'altra banda per la connexió de dades del CCA hi han diferents options per connectar-lo amb els servidors del control central de Bombers:

- Connexió a un punt fix d'un edifici públic, al que es pot connectar mitjançant un cable de xarxa o bé amb una connexió inalàmbrica (Wi-Fi p.ex.).
- les tecnologies inalàmbriques que es tractaran en els propers apartats (GPRS; UMTS, TETRA, satèl·lit i Wimax).

4.2.1 Requeriments de l'enllaç de dades pel CCA

Primer de tot, per a poder triar el tipus d'enllaç ideal per a fer servir al CCA, cal tenir en compte les característiques que es considera que ha de complir:

- Alt nivell de cobertura a Catalunya (ideal 100%), ja que és l'àmbit d'actuació del CCA.
- Elevat grau de disponibilitat (99,9999%).
- Velocitat de recepció/transmissió elevada, que permeti el funcionament de les aplicacions descrites a l'apartat 4.1. (com a mínim 128 Kbps).
- Garantia de QoS per a totes les comunicacions.
- Fàcil instal·lació i ràpida posada en marxa del sistema, ja que és durant les primeres hores d'una emergència quan més informació s'ha de intercanviar.
- La tecnologia que es faci servir ha de ser d'un estàndard obert amb més d'un fabricant de productes que la implementin, ja que així s'assegura el seu manteniment en el temps. Aquest fet també afavoreix l'abaratiment dels preus dels productes i la possibilitat que es vagin introduint millores, ja que la majoria d'estàndards es troben en constant evolució i a més, quan ho fan es sol garantir la compatibilitat amb les versions anteriors.

- Possibilitat d'autenticació i encriptació, tot i que a Bombers aquests paràmetres no són del tot decisius.

4.2.2 Connexió mitjançant un punt d'accés fix: cable i Wi-Fi

Tot i que normalment els edificis públics disposen de connexions de banda ample, la cobertura de ADSL no arriba a tots els municipis de Catalunya (àmbit d'actuació del CCA) i amb una línia telefònica convencional la taxa de dades és insuficient (<56 Kbps). És per això que s'han de plantejar d'altres solucions, que es desenvolupen en els següents apartats.

Com a referència, cal dir que durant aquest projecte s'han fet proves amb les connexions ADSL de que disposen els parcs de bombers, que són de 512 Kbps, i es van poder executar correctament les aplicacions de gestió d'incidències i de localització de vehicles.

D'altra banda s'ha de tenir en compte el tipus de connexió amb el punt fix, ja que és possible que la distància entre ell i el punt d'accés instal·lat al CCA sigui massa llarga, i no es pugui fer amb un cable de xarxa (la distància màxima teòrica és de 100 metres). Per això es podria fer servir un enllaç mitjançant Wi-Fi, que és un conjunt d'estàndards per a xarxes inalàmbriques, basat en les especificacions IEEE 802.11., i que està enfocat a establir LAN's sense fils. Però en el cas del CCA, l'enllaç entre el punt fix i el vehicle pot tenir múltiples obstacles, que poden dificultar el seu correcte funcionament. Per això durant la realització del projecte es va plantejar l'ús d'una solució basada en l'establiment d'un enllaç Wi-Fi de forma dinàmica (xarxes MESH). Aquesta solució (cedida pel projecte "Mesh Network Trial" de la UPC) es basa en l'ús de "cubs" de petites dimensions, que serveixen tant per establir enllaços Wi-Fi amb d'altres "cubs" (a 2,4 GHz o a 5 GHz), com per donar connexió als dispositius (PC's per exemple) que hi hagi al seu voltant (a 2,4 GHz) (veure foto a Annex 6).

Gràcies a un software específic els cubs "descobreixen" de forma automàtica la resta de cubs que l'envolten, de forma que els paquets es poden enrutar de forma dinàmica (en funció del nombre de salts calculats). Per tant, els "cubs" es poden col·locar sense necessitat d'una configuració prèvia de la taula d'enrutament.

Però per la seva aplicació al CCA s'hauria de disposar de connexió a Internet a través d'un punt fix (d'un edifici públic p. ex.), on es connectaria un dels cubs (que faria de *Gateway*), a partir del qual s'anirien concatenant més "cubs" per tal de superar els diferents obstacles que hi poguessin haver entre el punt d'accés fix i el vehicle, on es vol proporcionar un bon nivell de senyal. No obstant això, sembla que aquesta no és una solució del tot idònia per al CCA, ja que no sempre es pot assegurar la disponibilitat d'un punt fix on obtenir accés a Internet per connectar amb la LAN de Bombers.

D'altra banda, les interferències que poden introduir les moltes xarxes Wi-Fi domèstiques, podrien interferir la comunicació entre els cubs. Tot i que els cubs es poden connectar entre sí a 5GHz, evitant així les interferències. Però llavors es faria necessària l'existència de visió directa entre cubs, i per tant, disminuiria la flexibilitat que aporta una xarxa Wi-Fi de tipus MESH.

4.2.3 Connexió mitjançant enllaços “sense fils”

De les tecnologies sense fils comercials, per al CCA es planteja l'ús de: **GPRS**, **UMTS**, **satèl·lit**, **Wimax** i **TETRA**, com a possibles solucions per als enllaços de dades. Aquestes s'han triat perquè existeixen solucions comercials, amb les que s'han pogut fer proves i a priori es considera que es podrien implementar al CCA. Tot i que al següent apartat es tractarà la possible aplicació de cadascuna d'elles al CCA, a continuació es mostra un quadre on es resumeixen les seves característiques bàsiques. Tot i que la solució d'un **enllaç via satèl·lit** es descriu a banda (veure annex 5), ja que ofereix una varietat d'opcions amb diferents prestacions cadascuna d'elles.

Taula 4.1. Característiques de les tecnologies inalàmbriques per al CCA [18].

Característiques	GPRS	UMTS (WCDMA- 3GPP FDD)	TETRA	Wimax IEE 802.16- 2004
Definició	General Packet Radio Service	Universal Mobile Telecom. System	TERrestrial Trunked Radio	Worldwide Interoperability for Microwave Access
Any introducció	2001	Europa:2004	1997	2003
Tècnica accés al medi	TDMA/FDMA	CDMA	TDMA	TDMA, OFDM 256, OFDMA 2048, SC
Nombre de canals i ample de banda de canal	8 canals – Canal: 200 KHz	Fa servir la mateixa freqüència per qualsevol usuari – Canal: 5 MHz	4 canals – Canal: 25 KHz	De 3 a 20 canals – Canal: de 1,25MHz a 28MHz (tots dos valors dependran del àmbit d'ús)
Modulació	GMSK	QPSK	$\pi/4$ DQPSK	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Màx. taxa de transferència de dades (Kbps) (teòrics)	53,6 kbit/s	De 384 a 2000 kbit/s	7,2 kbit/s ó 28,8 kbit/s (sin protección)	134 Mbit/s SC (en canals de 28 MHz) 75Mbit/s OFDM

4.2.4 Grau de compliment del requeriments per part de les tecnologies “sense fils”

A continuació es descriurà el grau de compliment de les característiques del apartat 4.2.2 per part de cadascuna de les tecnologies enumerades a l'apartat 4.2.1., ampliant així mateix la seva descripció:

- **GPRS:** és una tecnologia àmpliament difosa, basada en una modificació de la forma de transmetre dades en les xarxes GSM ja existents, passant de la commutació de circuits a la commutació de paquets. A GPRS només es facturen les dades rebudes i transmeses, però no pas el temps de connexió. La velocitat que ofereix és de 53,6 Kbps en recepció i 20 Kbps de transmissió, velocitats que poden variar en funció de l'Operador i de la cella a la que es trobi connectat l'usuari, però que igualment són insuficients per a fer servir les aplicacions del CCA. Tot i que és la solució del actual CCA, ja que és econòmica, fàcil d'instal·lar i de fer servir (existeixen dispositius amb interfície per a PC que funcionen com a un mòdem, veure annex 6), també disposa d'una cobertura àmplia, però no global, ja que no està garantida al 100% del territori (en algunes ocasions s'ha establert el CCA en llocs on no hi ha cobertura de GPRS). Per últim, a les diferents proves fetes amb l'equipament del CCA s'han obtingut velocitats inferiors a 49 Kbps en recepció, valor proper al valor màxim teòric. Aquesta velocitat com ja s'ha dit és insuficient per al correcte funcionament de l'aplicació de gestió, fins i tot fent servir l'aplicació Terminal Server, ja que la interfície d'usuari s'actualitza molt lentament. Així mateix l'aplicació de localització de vehicles tampoc funciona bé amb aquesta solució.
- **UMTS:** la tecnologia UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) és el sistema de telecomunicacions mòbils de tercera generació. La seva principal característica és que fa servir la tecnologia WCDMA (*Wide Code Division Multiple Access*), que consisteix en una "expansió" en freqüència gràcies a un codi d'eixamplament. UMTS ofereix unes velocitats de transmissió teòriques de fins a 2 Mbps quan l'usuari està quiet o de fins a 384 Kbps quan es troba en moviment. A més també ofereix, entre d'altres: elevada seguretat i confidencialitat, accés múltiple de màxima eficàcia, alta resistència a les interferències, etc. Respecte al seu ús al CCA cal dir que es considera factible, ja que actualment al mercat existeixen solicions, com per exemple targetes PCMCIA, que permeten fàcilment la connexió dels PC's del CCA a la LAN de Bombers (a través d'una VPN). Tot i que s'ha de tenir en compte més com una opció de futur, ja que la cobertura que ofereixen les 3 grans operadores és per a poblacions de més de 100.000 i que representa una cobertura d'un 40% a un 50% de la població, no pas del territori [17].
- **TETRA:** com s'explica a l'annex 3, TETRA ofereix diferents serveis de dades que bàsicament són: missatges d'estat, missatges SDS i dades en mode IP (paquet). Tot i que la missatgeria es pot fer servir per al funcionament de l'aplicació de localització de vehicles, amb certes restriccions, per a l'aplicació de gestió d'incidències és insuficient. I també és insuficient el flux de dades que ofereix en mode IP (paquet), ja que la velocitat màxima teòrica de descàrrega és de 7,2 Kbps. Però a les proves fetes la velocitat neta màxima que s'ha aconseguit és inferior a 3 Kbps. Per a fer aquestes proves de comunicacions en mode IP a la xarxa TETRA es van fer servir 2 terminals portàtils TETRA de Sepura, concretament el SRH3500 (veure annex 6). Cadascun dels terminals es va connectar a un PC, de manera que aquests obtenien una IP i es connectaven a través dels terminals com si d'un mòdem es tractessin.

Tot i que TETRA compleix amb gairebé tots els requeriments enumerats inicialment (cobertura, seguretat, disponibilitat, etc.), la limitació de la velocitat màxima fa que no és pugui tenir en compte com a enllaç de dades per al CCA. En canvi sí que es podria tenir en compte com a solució de “*backup*”, ja que com a mínim permet el funcionament de l’aplicació de localització de vehicles (en “mode Radio”) i el intercanvi de fitxers de mida reduïda (que es podria fer servir en una possible adaptació de l’aplicació de gestió). A més, cal tenir en compte que el CCA sempre s’establirà en llocs on hi hagi cobertura de la Xarxa RESCAT, i per tant la seva disponibilitat està gairebé assegurada. Per últim, cal afegir que l'estat d'aquesta tecnologia respecte a comunicacions de dades en mode IP no és molt madur, i és per això que s'està desenvolupant un nou estàndard (TETRA Release 2) per millorar les prestacions de les dades amb TETRA (annex 3).

- **Wimax:** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) és un estàndard obert per a transmissió inalàmbrica de dades (“802.MAN”) que proporciona accés concurrents d'àrees de fins a 48 km de radi i velocitats de fins a 70 Mbps. En Desembre del 2005 el IEEE va aprovar l'estàndard 802.16e que permet fer servir el sistema amb terminals en moviment. Això ha fet que molts fabricants i operadors hagin començat a desplegar xarxes Wimax. Actualment a Catalunya s'està duent a terme un desplegament de xarxes Wimax dintre d'un projecte anomenat *BAR* (Banda Amplia Rural), que té com a objectiu donar cobertura de banda ampla als llocs on no es disposa de la infraestructura adequada (ADSL). Per tant, als llocs on no es disposi d'un punt fix ADSL probablement es tingui accés mitjançant Wimax. Aquesta xarxa funciona a freqüències al voltant dels 3,5 GHz, fet que garanteix millor qualitat i seguretat, ja que és una freqüència prou allunyada dels 2,4 GHz de les xarxes Wi-Fi convencionals. Així mateix, es pot considerar com a una opció vàlida pel CCA, ja que compleix amb totes les característiques demandades, excepte la de cobertura, ja que només es cobreixen els nuclis de població. Tot i que s'ha de tenir en compte que el CCA s'instal·la amb freqüència al interior (o molt a prop) de les poblacions afectades per un sinistre, i, per tant, és més probable que es tingui visió directa de les antenes que donen servei i es rebi un bon nivell de senyal. Per últim, també existiria la possibilitat d'establir un radioenllaç Wimax amb algun punt d'accés llunyà, però la seva complexitat tècnica i el elevat temps d'establiment que suposaria, descarten l'ús d'un radioenllaç Wimax.
- **Satèl·lit:** són moltes les solucions existents al mercat que ofereixen connexions de dades entre dos punts a través d'un enllaç via satèl·lit. Tot i que la majoria, que a més són les més econòmiques, es basen en xarxes VSAT (*Very Small Aperture Terminals*) (veure annex 5). Aquestes xarxes de comunicació per satèl·lit permeten l'establiment d'enllaços entre un gran nombre d'estacions remotes amb antenes de petit tamany, amb una estació central terrena anomenada *Hub*. En el cas del CCA de Bombers, com la LAN on estan els servidors disposa de “bones” connexions de dades, les comunicacions s'establirien del CCA al satèl·lit, del satèl·lit al *Hub* i del *Hub*, mitjançant Internet, a la LAN de Bombers, i viceversa. Això pot introduir un retard a les comunicacions, que podria dificultar el correcte funcionament de

les aplicacions del CCA. A més, aquests enllaços són compartits i no es pot assegurar cap mena de QoS, ni d'ample de banda.

Així mateix, també existeix la possibilitat de contractar un enllaç VSAT però “dedicat”, amb el que es pot assegurar un determinat grau de servei (QoS) amb un ample de banda 100% garantit. I si l'enllaç a fer és punt a punt, llavors també existeix la possibilitat d'enllaçar directament entre els dos punts, amb el satèl·lit com a únic punt intermig, evitant el pas pel *Hub*. L'inconvenient d'aquesta opció és el econòmic, ja que és molt més costosa que l'opció de compartir o l'enllaç VSAT “dedicat” (veure annex 5). A més del retard de com a mínim 500 ms que qualsevol de les possibles solucions introduceix (temps de pujada i baixada del satèl·lit en els dos sentits d'una comunicació).

Llavors, a mode de resum es poden veure a la taula 4.2. el compliment dels requisits tècnics per part de cadascuna de les tecnologies estudiades:

Taula 4.2. Resum característiques tècniques de les tecnologies analitzades per a establir un enllaç de dades al CCA.

Requeriments	ADSL (punt fix)	GPRS	UMTS	Enllaç VSAT “compartit”	Enllaç VSAT “dedicat”	TETRA	Wimax
Cobertura	Mitja/ Alta	Mitja/ Alta	Baixa	Total	Total	Molt alta	Mitja/Alta
Garantia Disponibilitat	Alta	No	No	No	Alta	Molt alta	No
Velocitat recepció	Fins a 2 Mbps	49 Kbps	100 Kbps	Fins a 2 Mbps (compartits)	Fins a 2 Mbps (dedicats)	3 Kbps	Fins a 2 Mbps
Garantia QoS	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Facilitat instal·lació	Sí	Alta	Alta	Alta	Depèn solució	Molt alta	Mitja
Temps posada en marxa	Baix	Baix	Baix	Baix	Baix	Baix	Alt
Cost econòmic de la connexió	Baix	Baix	Baix	Alt	Molt Alt	Mitjà	Alt

4.3 Prova d'enllaços “sense fils”

Per aportar més arguments a l'hora de triar quin és l'enllaç de dades òptim per al CCA, s'han pogut realitzar diferents proves amb algunes de les tecnologies anteriorment descrites. Aquestes proves han consistit en executar les aplicacions que haurien d'estar instal·lades al CCA (gestió d'incidències i localització de vehicles) i en la generació de fluxos de dades amb paquets UDP i TCP, mitjançant l'aplicació *IPERF* [16], per així comprovar el comportament del canal amb diferents mides de paquets. Així mateix, també s'han pogut valorar d'altres aspectes importants com la facilitat d'instal·lació, el temps de posada en marxa, el retard de la connexió i la velocitat efectiva neta. Per a mesurar aquest darrer paràmetre també s'ha fet servir el monitor de rendiment del SO Windows 2000 (monitoritzant la interfície de xarxa del PC que executa

l'aplicació). Així mateix, l'establiment de la connexió en la major part dels casos (tots excepte TETRA) es feia fent servir una VPN entre un PC client (connectat mitjançant l'equipament necessari per a cada tipus d'enllaç) i un PC servidor (connectat a la LAN on es troben els servidors de les aplicacions que es volen fer servir), tots dos PC eren de similars característiques. L'ús d'una VPN és important de fer-ho notar, perquè carrega més el canal de dades (*overhead*).

A continuació es mostren els resultats que s'han obtingut amb les proves fetes, així com d'altres observacions deduïdes al llarg de la seva realització. Tot i que de TETRA i GPRS ja s'han descrit breument anteriorment, i com que clarament no compleixen els requeriments (velocitat insuficient) no es tindran en compte.

4.3.1 Prova WiFi (xarxa MESH)

La prova es va realitzar amb una xarxa MESH formada per tres “cubs” de dimensions reduïdes (veure annex 6) proporcionats per la UPC (projecte “Mesh Network Trial”), que tenien dues interfícies Wireless, de manera que una la fan servir per a enllaçar amb la resta de “cubs” i l'altra com a punt d'accés per a donar servei als usuaris.

L'estructura de la instal·lació estava formada per un cub que feia de *Gateway* amb la LAN de Bombers, a la que es connectava mitjançant una targeta Ethernet, que també incorpora. A continuació d'aquest es col·locava un altre cub a una distància suficient com per a que es pogués comunicar amb el “cub” *Gateway*, i perquè també tingués visibilitat amb un tercer cub. Un quart cub no es va poder fer servir perquè a 2,4 GHz només hi ha 3 canals no interferits, de manera que 1 es feia servir per a la comunicació entre cubs i els altres 2 els feien servir el segon i tercer cub per donar accés WiFi. Tot i que la comunicació entre cubs es podia establir a 5 GHz i llavors fer servir més cubs. Però les proves fetes van demostrar que no és viable el seu ús a 5 GHz, perquè el seu comportament variava amb qualsevol petit canvi de l'entorn del cubs i, a més, era necessària la visió directa entre els cubs. Això en un entorn com el del CCA és difícil d'aconseguir, ja que els cubs s'han de col·locar entre el punt fix de connexió (interior d'un edifici públic, com p. ex. ajuntament) i el punt on s'emplaci el CCA (exterior, p. ex. plaça del ajuntament), i al llarg d'aquest camí hi sol haver molta activitat, tant de vehicles com de persones. A més, si la distància entre el punt fix on es vol connectar el *Gateway* i la zona a cobrir és elevada, s'haurien de fer servir més de 3 cubs i, per tant, a 2,4GHz tampoc seria possible.

Pel que fa a la instal·lació i configuració, el cub que fa de *Gateway*, disposa d'una interfície web de gestió per tal de configurar-lo, però el temps necessari per a fer-ho era elevat (uns 20 minuts). A més, en cas de variació de la posició dels cubs, el temps necessari per a que la xarxa es torni a reconfigurar automàticament és de aproximadament 40 segons, temps que també es considera alt. Aquest intervals de configuració es consideren com un factor negatiu, que afegides a les observacions anteriors (inestabilitat i interferències) fan que aquesta no es consideri com a òptima per al CCA.

4.3.2 Prova UMTS

Degut a la insuficient cobertura actual de UMTS al nostre territori, aquesta tecnologia no es pot incloure al CCA. No obstant això, s'han fet proves per comprovar si es pot tenir en compte com una opció de futur. Les proves s'han fet amb una targeta PCMCIA de Amena, connectant el PC client amb la LAN dels servidors de les aplicacions, a través de una VPN.

La velocitat que es va obtenir amb paquets UDP va ser de aproximadament 100 Kbps, mentre que amb paquets TCP es va observar que quant més gran era la mida de la finestra d'enviament, pitjor era el seu comportament. Això era degut a que el temps de retard que hi havia, que es va veure que era de uns 400 ms, fet que influencia directament en el control que realitza TCP. No obstant, amb TCP es va aconseguir una velocitat de descàrrega de 65,5 Kbps (amb una finestra de 9 KB). Així mateix, les aplicacions del CCA es van fer servir mitjançant aquesta aplicació i es va observar que, fent servir l'aplicació de Terminal Server, l'aplicació de gestió i la de localització de vehicles funcionen correctament.

La connexió es va establir mitjançant una targeta PCMCIA, amb un software associat que oferia una interfície d'usuari fàcil de fer servir (veure annex 6). A més no es necessari l'ús d'antenes externes, fet que simplifica la seva instal·lació. Per tant, sembla que UMTS podria ser una bona solució, però de cara a un futur que actualment sembla llunyà.

4.3.3 Prova Wimax

La prova amb Wimax es va fer en un dels municipis catalans que disposen de la infraestructura proporcionada pel projecte *BAR*. La seva configuració va trigar uns 20-30 minuts i l'equipament, de reduïdes dimensions, havia de tenir l'antena amb visió directa de l'antena del punt d'accés. A més, qualsevol petita interferència en la línia de visió entre antenes afecta al servei.

Pel que fa a les proves només es va poder provar el funcionament de les aplicacions del CCA, que van funcionar correctament. Tot i que també es fa la descàrrega de diferents fitxers per tal de comprovar la velocitat aproximada, que era d'uns 300 Kbps.

Llavors, tècnicament aquesta solució sembla útil per al CCA, tenint en compte que l'estàndard està evolucionant i a finals de 2005 es va aprovar una nova versió (802.16.e) [22] que permet el seu ús en moviment i sense necessitat de visió directa. Però la dificultat de la configuració inicial, la necessitat de visió directa i sobretot l'estat en que es troba el desplegament de infraestructures Wimax, que no és total, fan que s'hagi de considerar com a una opció de futur i no pas present.

4.3.4 Prova d'enllaç via satèl·lit VSAT “no dedicat”

De les diferents solucions de connexions via satèl·lit s'han fet proves amb un equip que fa servir la xarxa BGAN (Broadband Global Area Network) de Inmarsat, que és una xarxa VSAT. Aquest equip (*Hughes 9201*, veure annex 6) és robust i simple de fer servir, ja que és un panell (amb antena i hardware integrats) de reduïdes dimensions, que és pot orientar fàcilment i que disposa de múltiples interfícies per connectar un PC client (Ethernet, RDSI, Wi-Fi, entre d'altres). Així mateix, el “camí” establert per la comunicació entre el PC client i la LAN de Bombers és el següent: pujada a satèl·lit, baixada de satèl·lit a estació terrena (*Hub*) i enllaç terrestre (Internet) fins a LAN Bombers (i tornar).

A les proves que s'han fet s'ha obtingut una velocitat neta efectiva de descàrrega de 124,950 KBytes/s. Valor que s'ha obtingut amb les proves fetes amb paquets de tipus UDP. Però no pas amb TCP, ja que l'enllaç introduceix un retard de entre 1119 ms i 2143 ms, fet que fa empitjarar el comportament de la comunicació, perquè un cop s'ha transmès un paquet s'espera la recepció del ACK (Acknowledgement) del receptor per tal de començar a transmetre el següent paquet. Cal dir que hi han diferents estudis sobre la millora del comportament de TCP/IP sobre enllaços satèl·lits [20] que demostren que per exemple variant la mida de la finestra d'enviament és pot millora el throughput efectiu del canal. Aquesta tècnica la implementen algunes solucions comercials, que a més afegeixen punts intermitjós que responen abans que els paquets arribin al receptor final, permetent així l'augment de la finestra a enviar i millorant per tant el throughput.

D'altra banda, el temps que es necessari per a la posada en marxa de l'equip provat és el que triga el receptor GPS que incorpora, en calcular una posició vàlida (per verificar el “hot spot” al que es connecta). A més, la seva instal·lació és fàcil, ja que no necessita cap suport especial, i incorpora un dispositiu acústic que facilita la seva orientació. Tot i que cal que es col·loqui en un espai obert i sense obstacles, ja que l'angle de visió del satèl·lit és baix (15º aprox.).

Per últim, també s'han fet proves amb les aplicacions de gestió d'incidències i de localització de vehicles, però no han funcionat correctament a causa del elevat retard que introduceix l'enllaç, tot i fer servir l'aplicació de Terminal Server. Per tant, es considera que aquesta solució no és òptima per al CCA, tot i que com ja s'ha dit, hi ha d'altres solucions d'enllaços via satèl·lit que sí ho podrien ser. I tenint en compte que el retard és el factor més negatiu, sembla clar que la solució adient seria una punt a punt que evités el passar per la estació terrena, o bé una solució en la que la connexió entre l'estació terrena i un dels punts fos terrena, però dedicada (mitjançant un túnel virtual, p. ex.).

4.3.5 Prova d'enllaç via satèl·lit VSAT “dedicat”

Abans de finalitzar el projecte s'han pogut realitzar proves a través d'un enllaç via satèl·lit de tipus VSAT, però amb una capacitat dedicada. Tot i que no es va poder fer servir l'aplicació *iperf*, sí que es va poder comprovar que el retard de l'enllaç oscil·lava entre els 600 i 700 ms i que la velocitat de descàrrega era

constant, tot i que era inferior als 128 Kbps teòrics. Aquesta diferència era deguda a la latència introduïda per l'enllaç, tot i que es van poder executar les aplicacions de Bombers amb l'aplicació “Terminal Server”, i es va comprovar que el seu funcionament era acceptable.

4.3.6 Conclusions

Tot i que al següent capítol es detallarà l'opció que es consideri adequada pel CCA, amb la comparativa i proves fetes sembla clar que la solució de l'enllaç via satèl·lit VSAT amb capacitat dedicada, ja que és la que compleix amb totes les premisses enumerades a l'apartat 4.2.1. Tot i que aquesta té l'inconvenient del seu elevat cost i, per tant, s'haurien de tenir en compte altres solucions de connexió ja descrites com són: un punt fix, un punt fix amb connexió via Wi-Fi (xarxa MESH), Wimax i UMTS (tot i que Wimax i UMTS són una solució de futur). A més, es podrien tenir en compte GPRS i TETRA com a opcions de backup, però tenint en compte que la seva taxa de velocitat és molt més baixa.

Capítol 5. Plec de condicions tècniques i proposta de instal·lació d'un CCA

Un cop descrites les característiques del CCA, definits els seus requeriments i analitzades les diferents solucions per a les comunicacions de veu i dades, en aquest capítol s'establirà el “plec de condicions” que haurà de complir qualsevol proposta que es presenti per a implementar un nou CCA. Així mateix, com a exemple s'exposarà una proposta d'instal·lació d'un CCA, que es centrarà en els aspectes relacionats amb l'equipament de comunicacions.

5.1 Plec de condicions tècniques d'un CCA

A partir de l'anàlisi i el dimensionat de les comunicacions de veu i de dades, fetes al capítol 3, en aquest apartat s'estableixen les característiques bàsiques que ha de complir l'equipament de veu i dades que s'instal·li a un nou CCA.

5.1.1 Comunicacions de veu: Radiocomunicacions

L'equipament per les radiocomunicacions estarà format com a mínim per:

- 5 terminals mòbils TETRA (amb antena i accessoris inclosos) per a comunicacions de grup (veure apartat 3.1.3.4.). A més, el vehicle comptarà amb el seu propi terminal TETRA, com la resta de vehicles de Bombers, i per tant, tindrà el GPS integrat.
- 1 terminal mòbil TETRA per a poder dur a terme trucades individuals i de telefonia, sense deixar de monitoritzar cap dels 5 grups que es puguin arribar a seleccionar.
- També s'ha de considerar la instal·lació de terminals que permetin l'enllaç amb altres cossos d'emergència, tot i que molts d'ells estan migrant a TETRA. Actualment només caldria incloure un transceptor que permetés mantenir comunicacions a la banda aeronàutica i un altre amb la banda marina (VHF), ja que els mitjans aeris que treballen per Bombers a més d'un terminal TETRA també disposen de terminals que cobreixen la banda 118 – 137 MHz, i els mitjans marítims de Bombers també disposen de terminals TETRA i de terminals que cobreixen la banda 156 – 157 MHz.

Els terminals TETRA hauran de complir com a mínim les següents condicions:

- Compatibilitat amb la infraestructura de la Xarxa TETRA que fa servir Bombers (Nokia Release 3.0) i garantir les evolucions necessàries per mantenir la compatibilitat amb futures versions de software de la Xarxa. La compatibilitat s'haurà d'acreditar mitjançant els TIP(*TETRA Interoperability Profile*), o certificats de interoperabilitat, corresponents a cada model.
- Compatibilitat amb els terminals que fan servir Bombers (Sepura).

D'altra banda, pel que fa a la millora del nivell de cobertura s'hauria d'incloure un TMO Repeater i/o un DMO Gateway (veure apartat 3.2.2.1.) com a part de l'equipament de radiocomunicacions del CCA. Tot i que considerant el seu caràcter "mòbil" (s'hauria d'emplaçar en un lloc allunyat del CCA per tal de donar-li cobertura) seria més efectiu el seu transport en el vehicle que doni suport de comunicacions al CCA (tècnics de ràdio).

5.1.2 Comunicacions de veu: Telefonia

Per a telefonia hi haurien d'haver disponibles un mínim de 4 línies:

- 1 per operador (el mínim d'operadors que treballaran és de 2).
- 1 de reserva (per poder sempre rebre trucades del centre de control).
- 1 per a enviar/rebre FAX.

Per tal d'assegurar els criteris establerts de màxima cobertura i disponibilitat, s'hauria d'implementar més de una tecnologia per a establir les comunicacions telefòniques (GSM, TETRA, satèl·lit, etc.). Així mateix, tot i no ser obligatòria la instal·lació d'una centraleta, es valorarà la seva inclusió, ja que al mercat hi ha centraletes amb múltiples interfícies de connexió (RDSI, LAN, línia analògica, DECT, etc), i el seu ús facilitaria la integració de les tecnologies que es puguin fer servir. A més, en cas d'incloure-la, aquesta hauria de ser de dimensions reduïdes i amb un format d'instal·lació per a un rack de 19".

Llavors, a partir de les consideracions fetes als apartats 3.3.2.x, s'estableix que per a donar el servei demandat s'hauria de fer servir:

- Una solució de telefonía GSM amb connexió, com a mínim, per a dos Operadors diferents, més una de reserva i una altra per a enviar/rebre FAX.
- Un telèfon via satèl·lit, que s'inclouria com a solució de backup.
- Un terminal TETRA per poder fer trucades telefòniques (i individuals).

Així mateix, la solució de VoIP es tindria en compte en funció del tipus d'enllaç que s'estableixi, tot i que sembla més una opció de futur, ja que el seu ús implicaria una modificació del equipament de telefonía dels diferents centres de control. No obstant això s'hauria de tenir present a l'hora de fer el disseny final.

5.1.3 Comunicacions de veu: integració del equipament d'operador

Per tal de facilitar les tasques de l'operador s'hauria d'incloure alguna de les dues solucions presentades a l'apartat 3.4.3 (DCS-5020 de Zetron i GEMYC de Fedetec), ja que compleixen amb els requeriments establerts a l'apartat 3.4.1. Els criteris per a seleccionar una de les dues solucions, a més del econòmic, serà:

- L'equipament ha de tenir unes dimensions reduïdes, ja que s'ha de minimitzar l'espai del equipament de veu i dades al interior del CCA.
- Ha de oferir la possibilitat de connexió de com a mínim 5 terminals TETRA, 3 línies telefòniques i els corresponents terminals telefònics.

- Flexibilitat i facilitat de configuració de la interfície d'usuari, possibilitant la variació de la informació que l'operador vulgui visualitzar.

5.1.4 Comunicacions de dades: tecnologia per a establir l'enllaç

L'enllaç, o enllaços, de dades que s'implementin al CCA han de complir amb el màxim de premisses estableties a l'apartat 4.2.1. Així mateix, tal i com ja s'ha comentat al capítol 4, un enllaç via satèl·lit dedicat i amb la velocitat adequada (mínim 128 Kbps) seria el que compliria amb totes les condicions estableties. Aquest enllaç, a més de l'equipament necessari (que hauria de ser com més reduït millor) hauria de disposar d'una antena d'apuntament automàtic, per tal de facilitar i reduir el temps per la seva posada en marxa. Però aquesta solució té els inconvenients del elevat cost econòmic (és la més cara de les possibles) i la mida de l'antena que necessita (1,2m de diàmetre) que pot dificultar la col·locació d'altres antenes.

No obstant això, finalment es proposa l'ús d'un enllaç via satèl·lit de tipus VSAT "dedicat" de com a mínim 128 Kbps. Tot i que s'ha de tenir en compte que el retard que introduceix (aprox. 600 – 700 ms) fa que s'hagin de fer servir a través de les aplicacions "Terminal Server", que es s'haurien de ajustar perquè el seu funcionament fos òptim. Així mateix, també es proposa la inclusió d'altres opcions, per tal que serveixin de backup en cas de fallada de l'enllaç via satèl·lit:

- Connexió a un punt fix ADSL: aquesta solució implica un cost addicional molt baix (cable de connexió LAN), i només caldria deixar una entrada de connexió lliure a l'equipament de Xarxa del CCA (una "boca" del router inalàmbric). Cal afegir, que tot i que s'han provat xarxes MESH, que facilitarien la connexió a un punt fix, els resultats que s'han obtingut a les proves fa que ara per ara no es tingui en compte.
- Connexió mitjançant un enllaç Wimax: aquest requeriria almenys una unitat lliure al rack on s'instal·li l'equipament de Xarxa, a més d'una entrada de connexió lliure.

D'altra banda, també es proposa la instal·lació de solucions que tot i proporcionar una taxa de velocitat molt baixa, tenen una alta disponibilitat. Aquestes solucions podrien fer-se servir per a intercanviar un mínim de informació, que permetria el funcionament "degradat" de les aplicacions de Bombers:

- Un enllaç GPRS per cada operador que treballi al interior del CCA (mínim 2). Cal dir, que actualment s'està desenvolupant una aplicació per la gestió d'incidències que podrà funcionar mitjançant l'intercanvi de fitxer de mida molt reduïda (desenes de Kbits).
- Un enllaç amb un terminal TETRA mitjançant una connexió IP. Llavors s'haurien d'afegir 2 terminals TETRA als 5 que hi han per a poder establir les comunicacions de veu:
 - o 1 per a fer servir l'aplicació de localització de vehicles (veure Annex 3).
 - o 1 per a dades IP (tot i que també es pot mantenir de reserva per a veu).

5.1.5 Comunicacions de dades: equipament interior

Tot i que no s'ha realitzat cap estudi previ, sembla clar que al interior del CCA s'ha de mantenir la solució actual, on els PC's d'operador es connecten directament al router i la resta (els que es situïn a les tendes de campanya annexes) estaran connectats mitjançant Wi-Fi. D'aquesta manera s'evita la instal·lació de més cables, factor positiu ja que al CCA no hi haurà massa espai lliure i aquests s'afegirien a d'altres que també s'han d'instal·lar (cables elèctrics, d'antenes i els dels terminals TETRA, entre d'altres). Així mateix, es preferible fer servir un router inalàmbric per crear la WLAN del CCA, ja que el mateix equip també podrà centralitzar les comunicacions de dades. I per a poder centralitzar-les el router haurà de tenir almenys 4 interfícies d'entrada lliures, per tal de possibilitar l'ús de més d'una tecnologia simultàniament (l'equipament que es faci servir ha de disposar d'interfície Ethernet per a que es pugui connectar al router).

5.2 Proposta d'instal·lació d'un CCA

En aquest apartat es presenta una proposta d'instal·lació per a l'equipament de veu i dades del CCA, incloent solucions comercials. Aquesta proposta no té perquè ser igual a la solució final, tot i que pot servir de guia per a la elaboració del projecte definitiu, de manera que serveixi per poder reservar l'espai necessari per a l'equipament de veu i dades, o es tingui en compte la necessitat d'ubicar antenes al sostre del vehicle.

Així mateix, d'altres aspectes importants del CCA, com són el tipus de vehicle que es farà servir o el confort ambiental, no són objecte d'aquest projecte i per això no seran tractats. Tot i que per assegurar el correcte funcionament del equipament de comunicacions també es consideraran els sistemes que els donen servei: alimentació, sistema radiant (ubicació d'antenes pels terminals TETRA i satèl·lit) i el cablejat que es consideri necessari. A continuació es detallen cadascuna de les parts, es fa un esquema de la solució proposada i es presenta un pressupost detallat de cadascuna de les parts.

5.2.1 Consideracions generals

En primer lloc s'han de definir els aspectes bàsics de la instal·lació d'un CCA que poden influir en la selecció del equipament de comunicacions:

- L'equipament s'instal·larà en una vehicle de tipus furgoneta. Per tant, és preferible que les seves dimensions siguin tan reduïdes com sigui possible.
- Es farà servir un rack de 19" per tal d'instal·lar l'equipament de veu i dades, per així facilitar la seva instal·lació, configuració i posterior manteniment. Per tant, l'equipament seleccionat s'ha de poder posar en un rack.
- El sistema d'alimentació es farà mitjançant un generador que s'haurà de transportar en el mateix vehicle (amb l'habitacle degudament insonoritzat).

- No obstant això, s'hauran d'instal·lar fonts d'alimentació que donin els 12 Vcc que necessiten alguns equips a partir dels 220Vac del generador.
- Per a permetre el fàcil accés al rack i al sistema d'alimentació, aquests es col·locaran a la part posterior del vehicle.

5.2.2 Equipament de veu i dades

5.2.2.1 Comunicacions de veu

➤ Integració d'àudio:

Com a equipament integrador de les comunicacions de veu (TETRA i de telefonia), és el model *DCS-5020* de *Zetron* (veure detalls a l'annex 6), que és un dels dos exemples d'equipament integrador comercial presentat al capítol 3. Es faran servir tres matrius, una per operador i una altres per a tenir 4 entrades addicionals, ja que les matrius es poden connectar entre sí. No obstant, cada operador tindrà una única interfície d'àudio (auriculars) i una única interfície gràfica, que estarà integrada al PC de que disposarà cadascun. Cada matriu ocupa 1 U del rack de 19" on s'instal·larà i on s'hauran de connectar els terminals de veu (radiocomunicacions i telefonia).

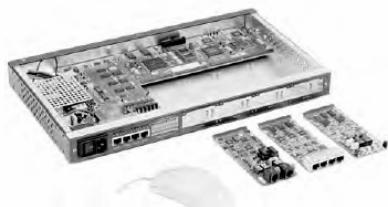


Fig. 5.1. Matriu integradora de les comunicacions de veu.

➤ Terminals Radiocomunicacions:

De terminals TETRA s'instal·laran 7 del fabricant *Sepura* (veure annex 6):

- 6 per a les comunicacions de veu, que es connectaran a la matriu de integració (5 per a comunicacions de grup i 1 per a trucades individuals).
- 2 per a dades (cadascuna connectada a un dels PC d'operador).

Les CPU d'aquests terminals s'instal·laran al rack de 19", en unes safates "telescopiques" i ocupant un total de 4 unitats del rack. A més, cadascun dels terminals haurà d'anar connectat a una de les dues fonts d'alimentació que s'instal·laran per proporcionar el 12 Vcc que necessiten per al seu funcionament. A més, als 2 terminals de dades s'hauran de connectar dos capçals que es col·locaran en la taula de treball dels operadors.

D'altra banda, també s'instal·larà un terminal de la banda aeronàutica i un de banda marina (VHF) (veure annex 6), per tal de poder establir comunicacions amb els mitjans aeris i marítims que no disposin de terminals TETRA. Aquests també es connectaran a la matriu.

➤ **Telefonia:**

Es proposa la instal·lació de 4 terminals GSM (veure annex 6), 2 dels quals es connectaran a la matriu integradora. Els altres dos s'instal·laran a banda, un com a reserva (es podrà connectar a la matriu o a un telèfon directament) i l'altre es connectarà a un terminal FAX. Així mateix, es plantejarà la possibilitat d'incloure una solució de telefonia amb connexió via satèl·lit de Globalstar (veure annex 6), semblant a la de GSM, ja que permet la connexió d'un terminal telefònic convencional.



Fig. 5.2. Mòdul GSM on es pot connectar un telèfon o un cable per dades.

5.2.2.2 Comunicacions de dades

➤ **Enllaç de dades:**

Per a l'enllaç es proposa un enllaç satèl·lit VSAT, dedicat i amb una velocitat de 128 Kbps simètrics. L'equipament necessari és només un mòdem satèl·lit que ocuparia una unitat del rack (veure annex 6) i que es podria connectar directament al router del CCA. A més, com a antena es farà servir una d'apuntament automàtic i de 1,2 m de diàmetre, que es col·locarà al sostre de la furgoneta (veure annex 6). Cal tenir en compte que la seva col·locació condicionarà el carrossat del vehicle, no només pel seu volum sinó també pel seu considerable pes (uns 80 Kg),



Fig. 5.3. Equipament de l'enllaç (antena i mòdem).

5.2.2.3 Equipament complementari per veu i dades

A banda de l'equipament propi de veu i dades, també s'instal·larà:

- Un router Wi-Fi que centralitzarà totes les comunicacions de dades, ja que els possibles enllaços es connectaran a ell i donarà servei via Wi-Fi als PC's que s'instal·lin al CCA. El model que es triï s'instal·larà al rack i es col·locarà a la part superior, tot i que l'àmbit que haurà de cobrir és reduït.
- A l'interior del CCA s'instal·larà un PC per cada operador que hi treballi, amb doble monitor de TFT, per tal que pugui fer servir les dues aplicacions de Bombers, a més de disposar de la interfície gràfica per les comunicacions de veu.

5.2.3 Altres consideracions

5.2.3.1 Alimentació

En primer lloc, cal tenir en compte que la instal·lació elèctrica que es faci haurà de complir amb la ITC-BT-41 (Instrucció Tècnica Complementària per a Baixa Tensió). Així mateix, el cablejat elèctric es col·locarà en canalitzacions diferents de la resta, per tal d'evitar les possibles interferències.

D'altra banda, s'haurà de preveure la instal·lació d'un generador de 220Vac, amb capacitat suficient per a donar servei a l'equipament que s'instal·li al CCA. A la instal·lació proposada, el generador haurà de ser de com a mínim 10 KVA i tindrà un espai reservat a la part posterior del vehicle. Pel que fa al nivell de soroll màxim del generador, aquest haurà de ser inferior als 65 dB (segons normativa ISO 2151:2004), i haurà de complir amb la directiva europea 200/14/CE sobre nivell de sorolls. Tot i que sempre que sigui possible s'instal·larà allunyat del vehicle i es connectarà mitjançant un cable a l'entrada d'alimentació.

5.2.3.2 Sistema Radian

Al vehicle s'hauran d'instal·lar les antenes dels terminals TETRA, la antena del terminal de VHF, l'antena (automàtica) de l'enllaç VSAT, les antenes dels terminals GSM i l'antena del terminal telefònic via satèl·lit (si s'instal·la). Cal tenir en compte però, que al mercat existeixen antenes "multibanda" que permetrien la reducció del nombre d'antenes, ja que en una mateix antena es poden incloure les de GSM, TETRA i GPS. No obstant s'optarà per l'ús d'antenes separades, ja que aquestes antenes "multibanda" no han estat suficientment provades i ofereixen un guany inferior a les individuals.

D'altra banda, cal fer notar que aquests terminals funcionen a bandes suficientment separades i, per tant, no s'ha de seguir una distribució especial a l'hora d'instal·lar-les al vehicle, tot i que es procurarà seguir una distribució simètrica i separar el màxim possible les antenes d'una mateixa tecnologia. A més, s'ha de tenir en compte que l'antena de l'enllaç VSAT necessita una bona part de l'espai disponible al sostre, on també anirà instal·lat l'equip del aire condicionat, que ocupa molt de l'espai disponible del sostre. Llavors, la resta d'antenes, que són de dimensions molt més reduïdes s'instal·laran als espais

que quedin lliures. Concretament, les antenes TETRA que es faran servir (veure annex 6), s'hauran de col·locar amb una separació de més d'un metre entre elles, ja que si un dels terminals fes servir el Mode Directe podrien aparèixer problemes d'intermodulació, ja que la banda de recepció en Mode Xarxa es correspon amb la banda de transmissió de Mode Directe.

Així mateix, els cables de les antenes TETRA s'hauran de connectar a un *patch* que es col·locarà al interior del vehicle, per si es volguessin connectar els terminals a alguna antena exterior (col·locada a un màstil, per exemple). De fet, és habitual l'ús d'antenes de col·lineals de guany muntades en màstils als llocs on el nivell de senyal és baix, o en el cas que es vulgui fer servir un dels terminals TETRA en Mode Directe (s'augmenta el seu abast).

5.2.4 Esquema general de la instal·lació proposada

A continuació es mostra la distribució proposada per l'equipament de veu i dades en un vehicle 'tipus' (Mercedes Sprinter) del que es coneixen les dimensions. Aquestes han servit per tenir una referència vàlida de la distribució.

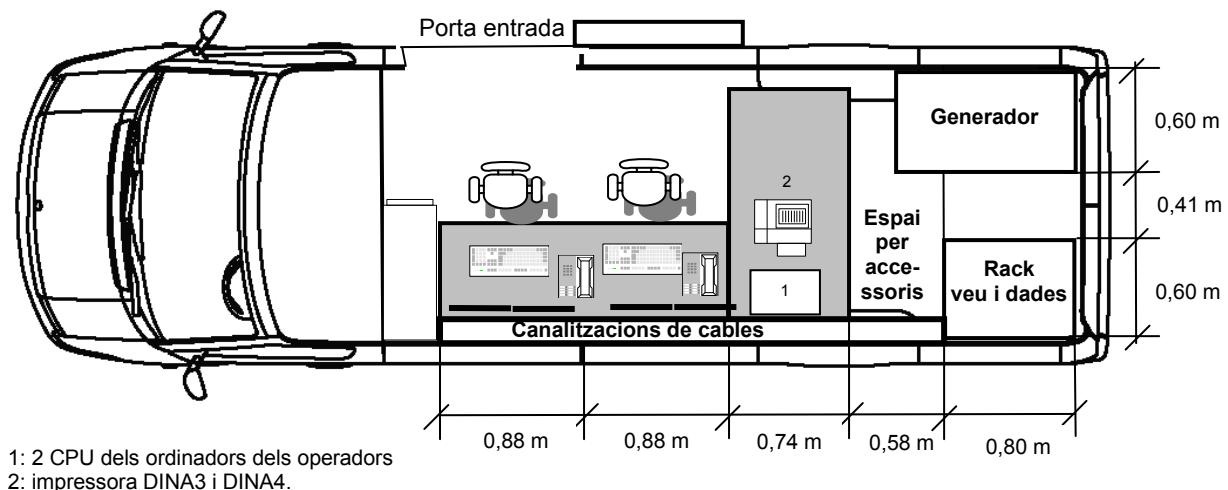
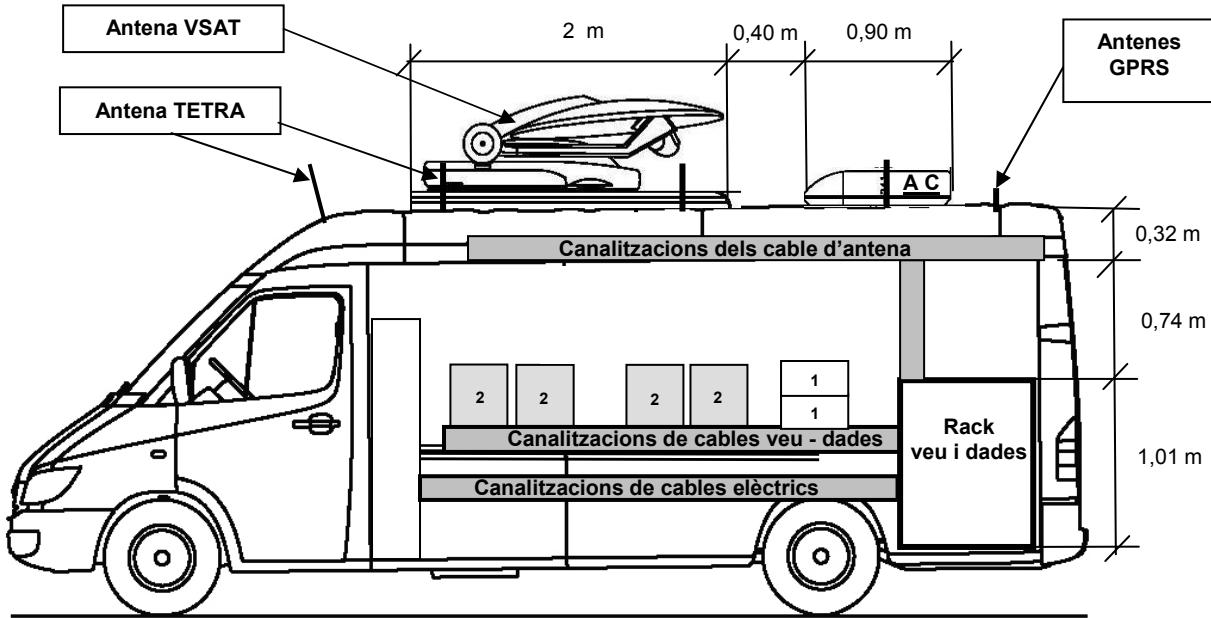


Fig. 5.4. Vista en planta de la distribució interior proposada.



- 1: 2 CPU dels ordinadors dels operadors.
2. Pantalla TFT (2 per PC).

Fig. 5.5. Vista en secció de la distribució proposada.

5.2.5 Especificacions de la instal·lació de veu i dades

A més de les dimensions, que es poden veure als esquemes anteriors, com a dada tècnica important, que cal conèixer abans de començar la instal·lació definitiva, és el pes de l'equipament. A la proposta feta el pes total és de aproximadament 400 Kg.

Com a rack de veu i dades s'ha triat un de 22U (veure model a l'annex 6), de manera que hi càrga tot l'equipament necessari i quedi espai lliure per a futures ampliacions o modificacions:

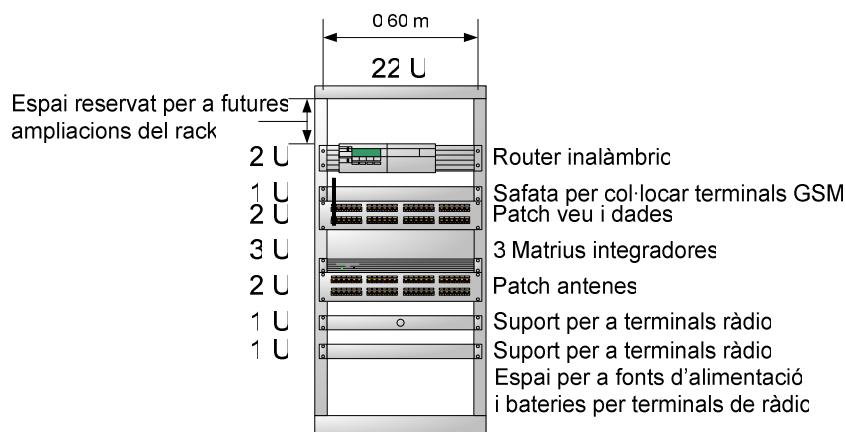


Fig. 5.6. Esquema instal·lació rack de veu i dades.

5.2.6 Pressupost del equipament de veu i dades

Tot i que el pressupost detallat no es podrà fer fins que no es defineixi el tipus de vehicle, ja que llavors es podrà incloure el cost del petit material, el de instal·lació de l'equipament i el de manteniment. A continuació es presenta un pressupost que engloba tot el material de la instal·lació de veu i dades proposada en aquest projecte i la quota anual de la connexió satèl·lit VSAT:

Taula 5.1. Pressupost de l'equipament de veu i dades.

Equipament	Preu
Sistema VSAT (antena automàtica i mòdem)	17.600 €
Quota connexió sistema VSAT 128 Kbps (anual)	4.600 €
Sistema d'alimentació (generador, fonts d'alimentació i bateries)	6.000 €
Armari rack 600x800 mm fabricant GBO + accessoris	1.500 €
Terminals TETRA Sepura SRG3500 (7 unitats)	10.500 €
Terminals VHF: banda marina i banda aeronáutica	1.400 €
Telefonia: terminals GSM/GPRS (4 unitats)	600 €
Matriu integradora (3 unitats)	15.000 €
Router inalàmbric	1.800 €
PC de sobretaula (2 unitats) + Impressora	3.000 €
TOTAL (incloent quota satèl·lit 1er any)	62.000 €

Capítol 6. Conclusions i estudi d'ambientalització

6.1. Conclusions

En aquest s'han definit els recursos tecnològics necessaris per a que des del CCA (Centre de Comandament Avançat) de Bombers es puguin establir les comunicacions de veu i dades de la mateixa manera que a un centre de control, ja que el CCA és la seva extensió a la zona més propera del lloc on ha sorgit una situació de gran emergència. El disseny que es faci es podrà fer servir en el moment que es dugui a terme el projecte global d'implementació d'un nou CCA, ja que es podrà reservar l'espai i el pressupost necessari per l'equipament de veu i dades.

Pel que fa a les comunicacions de veu, cal dir que s'han dimensionat tant les de TETRA com les de telefonia.

En el cas de les comunicacions amb la xarxa TETRA, s'han dimensionat els dos paràmetres més importants: el tràfic generat pels usuaris i el nivell de cobertura. El dimensionat del tràfic s'ha dut a terme tenint en compte l'actuació de bombers en situacions de gran emergència, que és quan actua el CCA, cosa que no s'havia fet en cap altre estudi, amb l'objectiu d'obtenir una configuració òptima de nombre d'usuaris per grup. Com a resultat remarcable és que el nombre òptim de grups és de 5 i, llavors, seran 5 el nombre de terminals TETRA necessaris al CCA. I pel que fa a la cobertura, tot i que el CCA sempre s'establirà en llocs on hagi cobertura TETRA, s'ha tingut en compte la possibilitat de fer servir un equipament que pugui amplificar el nivell de senyal, en situacions on el nivell sigui just. Això es pot dur a terme amb un TMO Repeater o amb un DMO Gateway, i com aquesta darrera funció la ofereixen els terminals del fabricant Sepura, es trien els seus terminals mòbils perquè es poden fer servir com a terminals "normals" de veu o com a DMO Gateway.

Pel cas de les comunicacions telefòniques, s'ha proposat la utilització de més d'una tecnologia: GSM, satèl·lit i TETRA; per així assegurar el seu funcionament en totes les circumstàncies, que és l'objectiu principal del projecte.

D'altra banda, per tal de dimensionar les comunicacions de dades, primer de tot s'han monitoritzat les aplicacions que fan servir els operadors i, d'aquesta manera, s'han establert els requeriments que hauria de complir l'enllaç de dades que s'estableixi per tal que les aplicacions funcionin correctament.

A partir dels requeriments de les aplicacions i els que des de Bombers s'imposa a qualsevol enllaç (QoS, fiabilitat, etc) s'han analitzat les diferents solucions possibles: connexió a un punt fix (ADSL d'un edifici públic) i connexions inalàmbriques (GPRS, UMTS, Wimax i satèl·lit). A més, també s'han pogut fer proves amb equipaments d'algunes de les tecnologies provades, els resultats de les quals han servit per a acabar de definir la solució a triar.

Finalment, s'estableix que la millor solució seria la d'un enllaç via satèl·lit VSAT "dedicat", ja que és l'únic que compleix amb tots els requeriments establerts, tot i que aquesta és la menys econòmica de totes les opcions. Així mateix, també

es proposa la inclusió de més solucions tecnològiques per tal de fer-les servir de backup, assegurant així la possibilitat de connexió amb el control central, tot i que sigui amb una capacitat inferior a la de l'enllaç principal.

Com a resultat dels estudis fets (de comunicacions de veu i dades) s'ha establert un plec de condicions tècniques, que s'inclouran al plec "global" pel muntatge d'un nou CCA. Cal dir que en la seva redacció s'ha tingut en compte que el vehicle que farà les funcions de CCA haurà de funcionar en tota mena de circumstàncies, i que haurà d'ofrir una alta fiabilitat, ja que es farà servir en situacions d'emergència on el seu correcte funcionament és clau.

Per últim, amb la proposta d'instal·lació s'ha comprovat la importància de definir l'equipament de comunicacions, ja que l'espai disponible a l'interior del vehicle és molt reduït. Així mateix també s'ha corroborat la importància de la instal·lació associada a l'equipament de comunicacions (sistema alimentació i sistema radiant), que haurà d'estar ben dimensionada per assegurar el seu correcte funcionament. Cal afegir que al disseny fet s'ha deixat espai per a possible ampliacions, ja que s'ha observat que hi han tecnologies que, tot i que actualment no ofereixen massa prestacions, en un futur pròxim poden ser solucions adequades pel CCA, i complementàries a les ja definides.

6.2. Estudi d'ambientalització

En el moment de la instal·lació es comprovarà que tot l'equipament de veu i dades que es faci servir compleixi amb la directiva europea sobre reciclatge. Actualment la majoria de fabricants s'estan adaptant ja que el límit per adequar-se a la normativa finalitza el 31 de Desembre de 2006. I per exemple tant l'equipament d'usuari TETRA com el de la xarxa ja està adaptat.

Així mateix el vehicle que s'utilitzi com a CCA haurà de complir amb la normativa 200/53/CE que indica les directrius que s'han de seguir a l'hora de planificar el xassís i els elements agregats d'un vehicle.

D'altra banda, cal dir que la xarxa TETRA que Bombers fa servir l'estan començant a utilitzar d'altres cossos de seguretat i emergències, aconseguint així l'optimització de l'espectre radioelèctric i la reducció d'equips (no hi haurà una xarxa per organització, sinó una compartida per tots).

Bibliografia

- [1] Bellostas Solé, J., Queralt i Creus, D. "Procediment per a la implantació de Centres de Comandament Avançat". Mòdul de control, comandament i coordinació de recursos. Curs d'inspector i sotsinspectors 2003-2004.
- [2] Steppeler, M., "Maximum Number of Users Which Can Be Served by TETRA Systems". Aachen University of Technology. Germany. Pàgina Web, URL: <<http://steppler.de/beruf/veroeffentlichungen/steppeler-1999-epmcc.pdf>> (comprovada 02/10/2006)
- [3] Barceló, F., Paradells, J., "Performance Evaluation of Public Access Mobile Radio (PAMR) Systems with Priority Calls", IEEE Proc. of the 11th PIMRC, pp. 979-983, London (UK), September 2000.
- [4] Barceló Arroyo, F., Navarro Ezquerro, M., "Simulació de sistemes trunking". Edicions UPC. Barcelona. Març 2001.
- [5] Jordi Naspler Soro, "Projecte Final de Carrera: Estudi de viabilitat d'un sistema de telecomunicacions basat en l'estàndard TETRA per a un cos d'emergència i seguretat civil", ETS d'Enginyeria de Telecomunicació Barcelona, any 2000.
- [6] Estadístiques sinistres 2003, 2004 i 2005. Pàgina Web, URL: <<http://www.gencat.net/interior/emergencies/bombers/index.htm>> (comprovada 02/10/06).
- [7] Document intern de Bombers sobre l'assignació de TBS a grup.
- [8] Software cedit per Francesc Barceló Arroyo. "Simulador de Sistemes PMR".
- [9] Ruiz Fernández, Pedro José, "Estudio de cobertura en interiores para una red de radiocomunicaciones TETRA aplicada a un cuerpo de seguridad y emergencias". TFC. EPSC. Castelldefels. Febrer 2003.
- [10] TETRA Release 2. Pàgina Web, URL: <<http://www.etsi.org/etsi%5Fradar/cooking/rub7/tetra.htm#>> (comprovada 02/10/06).
- [11] Barceló, F., Paradells, J., "Evaluación de sistemas de telefonía móvil de grupo cerrado", VIII Jornadas TELECOM I+D 98, pp. 459-468, Madrid, Octubre 1998. Pàgina Web. URL: <<http://www.edicionsupc.es/ftppublic/forum/FTL00100.pdf>> (comprovada 02/10/2006)
- [12] Tetra Mou Association. Pàgina Web, URL: <<http://www.tetramou.com/>> (comprovada 02/10/2006).
- [13] Jordán, J., Barceló, F., "Statistical Modelling of Channel Occupancy in Trunked PAMR Systems", in Teletraffic Contributions for the Information Age

(Proc. of the 15th ITC), pp. 1169-1178, V. Ramaswami and P.E. Wirth (editors). Elsevier, June 1997.

[14] Equip integrador d'àudio (Zetron). Pàgina Web, URL:
<http://www.zetron.com/data/site/templates/zetrontemplate.asp?area_0=pages/menus/radiodispatchprod&area_1=pages/products/dispatch/dcs5020>
(comprovada 02/10/2006)

[15] Equip integrador d'àudio (Fedetec). Pàgina Web, URL:
<<http://www.fedetec.es/esp/productos/gemyc/>> (comprovada 02/10/2006)

[16] Software IPERF. Pàgina Web, URL:
<<http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>> (comprovada 02/10/2006)

[17] Referència cobertura UMTS. Pàgina Web, URL:
<<http://www.aecom.org/content.asp?ContentTypeID=2&ContentId=3940&CatTypeID=2&CatID=197>> (comprovada 02/10/2006)

[18] Rohde & Schwarz. "Wireless Communications Standards". *News from Rohde & Schwarz*, nº 189, 2006/I.

[19] Pàgina HISPASAT. Pàgina Web, URL:
<<http://www.hispasat.com/Detail.aspx?sectionId=171&lang=es>>
(comprovat 02/10/2006).

[20] TCP IP Performance over Satellite Links. Pàgina Web, URL:
<www.adec.edu/nsf/tcpip-performance.pdf> (comprovat 02/10/2006).

[21] Equip VSAT de *Hughes (Immarsat)*. Pàgina Web URL:
<<http://comitas.es/auxiliar/catalogos/BGANHUGHES.pdf>>
(comprovada 02/10/06)

[22] Dades sobre Wimax. Pàgina Web, URL:
<<http://www.umtsforum.net/wimax.asp>> (comprovada 02/10/06)

[23] John Dunlop, Demessie Girma, James Irvine. "*Digital Mobile Communications and the TETRA system*", Editorial John Wiley & Sons, LTD, 1999.

[24] Hernando Rábanos, J.M., Montero del Pino, M., Pérez Fontán, F., "*Ingeniería de los sistemas trunking*", Editorial Síntesis, 1998.

[25] Martín Serrano, Esther, "Análisis de aplicaciones en entornos de seguridad y emergencias en red TETRA", PFC, 24 de Febrero de 2006.

[26] Proveïdor de connexió via satèl·lit. Pàgina Web, URL:
<www.satconxion.es> (comprovada 02/10/06).

[27] Targeta PCMCIA dual 3G/GPRS, model *Novatel Wireless Merlin U530/U630*. Pàgina Web, URL:

< http://www.nomatica.com.es/product.asp?code=MERLIN_U630 >
(comprovada 02/10/06).

[28] Terminal TETRA del fabricant Sepura. Pàgina Web, URL:
< www.sepura.com > (comprovada 02/10/06).

[29] Terminal de banda aeronàutica, model *ac110* del fabricant *Icom*. Pàgina web, URL:
<http://gcnradioaficion.com/comunicacion/aviacion/emisora_icom_ic_a110.htm>
(comprovada 02/10/06).

[30] Terminal de banda marina, model *m421* del fabricant *Icom*. Pàgina web, URL:
< <http://www.sonicolor.es/productos/pdf/icom/m421.pdf> >
(comprovada 02/10/06).

[31] Terminal GSM/GPRS del fabricant Xacom. Pàgina web, URL:
< <http://www.xacom.com/> > (comprovada 02/10/06).

[32] Antena automàtica per a l'enllaç via satèl·lit. Pàgina web, URL:
< <http://www.highspeedsat.com/inetvu.htm> > (comprovada 02/10/06).

[33] Equip generador d'alimentació, model *P9000* del fabricant *Pramac*. Pàgina web, URL: < <http://www.pramac.es/powersys.asp> > (comprovada 02/10/06).

[34] Rack de 22U del fabricant GBO. Pàgina web, URL:
< <http://gbo.es/downloads/GBO-rack.pdf> > (comprovada 02/10/06)

ANNEX 1. Estàndard TETRA

En aquest annex es fa una descripció més àmplia de les característiques pròpies del estàndard TETRA.

A1.1 Aspectes generals

Hi ha dos modes bàsics de funcionament definits per TETRA, que són:

- TETRA Veu+dades (V+D), per a xarxes integrades de veu i dades.
- TETRA paquets de dades optimitzats (PDO: Packet Data Optimized), per a xarxes exclusives de dades, permetent l'establiment de serveis com la missatgeria vocal, el intercanvi electrònic de dades o la informàtica vehicular, així com la localització i gestió de tràfic de vehicles.

No obstant, no es coneixen actualment xarxes TETRA PDO, així que només es tractaran els aspectes relacionats amb les xarxes TETRA V+D, que permeten tant comunicacions de veu com de dades.

A1.1.1 Funcions de Xarxa suportades per TETRA V+D

Per a que un sistema pugui oferir el ventall de serveis enumerat al capítol 1, es necessari que disposi d'unes funcions determinades. Hi ha de dos tipus, les que s'encarreguen de fer possible cadascuna de les modalitats de comunicació i les que serveixen per a gestionar el funcionament de la Xarxa de forma eficient per als usuaris i l'operador de la Xarxa.

De les funcions de Xarxa en destaquen les prestacions bàsiques, que són les de TETRA V+D:

- Temps d'establiment de trucada inferior a 300 mseg.
- Grau de servei: 5% (valor que es farà servir als càlculs del tràfic de veu).
- Qualitat de veu.
- Temps d'establiment de trucades de dades:
 - o Comutació de circuits <300 mseg.
 - o Comutació de paquets < 2 segons.
- Retard de trànsit per a dades en mode paques orientats a connexió < 500 mseg. (paquets de 100 octets).
- Retard de trànsit per a dades en mode paques no orientats a connexió 3 seg., 5 seg., 10 seg., segons prioritat.
- Règim binari nèt: fins a 19,2 Kbits/s.

Les funcions de Xarxa serveixen per a gestionar el funcionament eficient de la Xarxa per als usuaris i per a l'Operador de la Xarxa. A continuació ampliem alguna d'elles.

A1.1.1.1 Establiment del servei

El primer pas a seguir per un terminal quan es posa en marxa és la recerca d'un canal de control en la Xarxa. Aquest procés de recerca s'efectua de forma automàtica sempre que el terminal està funcionant en mode trunking.

El procés a seguir és el següent:

- Recerca d'una ràfega descendent de sincronisme per a sincronitzar-se amb la Xarxa.
- Obtenció de la *Sysinfo PDU*, que conté informació de: la portadora principal, el nombre de canals de control secundaris en operació, paràmetres per a calcular les pèrdues de propagació, tipus de terminals que admet la Xarxa, etc.
- Una vegada complerts aquests dos passos, el terminal es posa a l'escolta del canal de control per a enregistrar-se a la Xarxa.

A1.1.1.2 Registre a la Xarxa

Una vegada localitzat el canal de control, el terminal passa a enregistrar-se a la Xarxa, per així poder ser localitzat en cas que es produueixi una trucada dirigida a ell. S'estableixen unes àrees, anomenades LA (Location Areas) que poden correspondre a una o més cel·les, de tal forma que el terminal només s'ha de registrar cada vegada que canvia de LA.

Quan la Xarxa tingui que enviar algun missatge al terminal, només ho farà a través de les TBS (TETRA Base Station) del àrea en la que s'hagi registrat. El registre d'un terminal pot fer-se amb un missatge específic de registre (explícit) o mitjançant qualsevol altre missatge enviat pel terminal, en el que indica la seva identitat (implícit).

En el cas que un terminal estigui registrat en més d'una LA, es defineix la *Registration Area* com el conjunt de LA en les que s'ha registrat.

A1.1.1.3 Reselecció de cel·la.

La reselecció de cel·la és el procés a través del qual un terminal canvia de cel·la. En el cas que el terminal estigui implicat en una trucada, aquest procés es coneix com a traspàs (*handover*).

Per a poder canviar de cel·la (quan sigui necessari) és obligatori que el terminal segueixi els següents passos:

- Recepció de missatges de difusió de la cel·la a la que està connectat, que conté informació de la pròpia cel·la i de les cel·les veïnes.
- Monitorització del nivell rebut de la cel·la a la que està connectat.
- Mantenir una llista de cel·les veïnes ordenades segons el nivell rebut de cadascuna d'elles i dels paràmetres difosos a través de la *Sysinfo PDU*.

- Els procediments per a portar a terme la reselecció de cel·la (segons la situació) són les següents:
 - o **No declarat:** el terminal canvia de cel·la sense avisar a la Xarxa. Això succeeix quan el terminal no està implicat en una trucada i no canvia de LA.
 - o **No anunciat:** el terminal canvia de cel·la sense avisar prèviament. Aquest fet succeeix quan el terminal està a l'escuta d'una trucada de grup i quan la pèrdua de cobertura ha estat tan ràpida que al terminal no li ha donat temps a avisar del canvi de cel·la.
 - o **Anunciat:** el terminal avisa a la cel·la en la que està registrat que té la intenció de canviar. Poden ser de tres tipus:
 - **Tipus 3:** el terminal no informa de quina és la nova cel·la perquè encara no l'ha seleccionat.
 - **Tipus 2:** el terminal informa de quina és la nova cel·la i espera el consentiment de la Xarxa. El registre i restauració de la comunicació es porta a terme a la nova cel·la.
 - **Tipus 1:** és igual que el tipus 2, però la negociació es fa a la cel·la a on estava registrat abans del canvi. D'aquesta forma s'aconsegueix que la interrupció sigui totalment imperceptible per al usuari (*seamless handover*).

Es precís aclarir que la decisió de canviar de cel·la la pren el terminal en funció del nivell de senyal que rep de les LA que donen cobertura a la zona on es troba el terminal. Tot i que a més del nivell de senyal rebut de la cel·la, també es tenen en compte: el nivell de senyal mínim que ha de rebre la cel·la per tal d'acceptar la transmissió del terminal (paràmetre difós per la Xarxa) i la potència màxima de transmissió, tant del terminal com de la cel·la. Amb aquests paràmetres, i amb el nivell de senyal rebut de la cel·la, el terminal fa un càlcul numèric que serveix per a decidir, o no, el canvi de cel·la.

A1.1.2 Interfícies

Per a assegurar un mercat amb múltiples proveïdors, a l'estàndard TETRA s'especifiquen un mínim de interfícies obertes entre les diferents entitats de xarxa. A banda d'aquestes, les especificacions no determinen com ha de ser l'arquitectura de la xarxa, deixant un considerable grau de llibertat per als operadors.

Els tipus de interfícies definides són:

- **IF1:** Interfície Radio (assegura interoperabilitat de terminals de diferents fabricants).
- **IF2:** Interfície d'estació de despatx.

- **IF3:** Interfície entre sistemes (ISI) (permets interconnectar xarxes TETRA de diferents proveïdors).
- **IF6:** Interfícies Radio de Mode Directe (DMO) (assegura comunicació entre terminals fora del àrea de cobertura de xarxa).

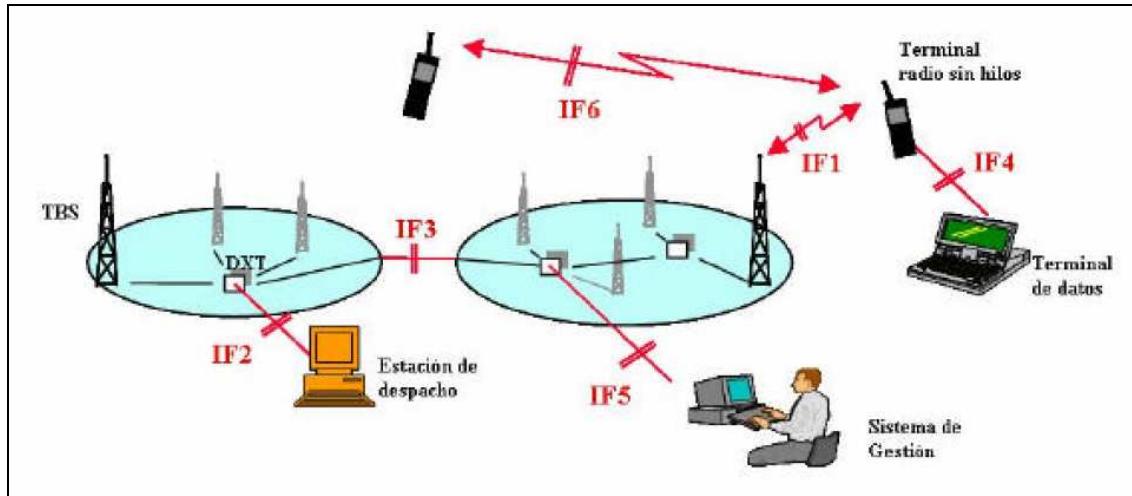


Fig. A1.1. Interfícies TETRA.

Existeixen a més dues interfícies més, de les que es defineixen només unes funcions bàsiques i la resta de funcions més avançades es deixen en mans dels diferents fabricants. D'aquesta manera s'assegura la compatibilitat en quant a les funcions bàsiques del sistema. Les dues interfícies addicionals són:

- **IF4:** Interfície d'Equip Terminal (TEI) (facilita el desenvolupament independent d'aplicacions mòbils de dades).
- **IF5:** Interfície de Gestió de Xarxa.

L'estàndard TETRA també defineix passarel·les amb xarxes PSTN, ISDN, PDN i PTN.

Per últim, les publicacions de l'estàndard es divideixen en 5 grups (cadascun d'ells tracta un aspecte diferent de l'estàndard), tal i com es pot veure a la taula A1.1. Totes aquestes publicacions es divideixen en apartats que defineixen tots els aspectes del estàndard.

Taula A1.1. Codis de les publicacions de l'estàndard TETRA.

Codi ETSI	Títol
ETS 300 392-xx	TETRA Voice plus Data (V+D)
ETS 300 393-xx	TETRA Packet Data Optimized (PDO)
ETS 300 394-x	TETRA Conformance Testing
ETS 300 395-x	TETRA Speech Codec
ETS 300 396-x	TETRA Direct Mode Operation (DMO)

A1.2 Serveis definits a l'estàndard TETRA

Els serveis de TETRA es classifiquen en:

- Serveis de transport, que ofereixen una capacitat de transmissió de informació entre interfícies normalitzades.
- Teleserveis, que proporcionen la comunicació extrem a extrem amb la inclusió dels terminals.
- Serveis suplementaris, que modifiquen característiques d'un teleservei per a facilitar el seu ús per part del usuari.

Alguns dels serveis que pot oferir TETRA són:

- Telefonia vocal semidúplex o dúplex, amb o sense xifrat.
- Mode directe o comunicació mòbil - mòbil sense passar pel control.
- Amplies classes de trucades, com són:
 - *Trucada de grup*: és una trucada que reben tots els usuaris que el tenen seleccionat, que es troben sota la cobertura de TBS que donen servei al grup i que tenen drets per a escoltar. És semidúplex i la trucada finalitza després d'un temps de inactivitat, establint a més un temps màxim per a cada usuari que vulgui parlar.
 - *Trucada individual*: s'estableix entre dos usuaris de la Xarxa, mitjançant el nombre que els identifica (ISSI, Individual Short Subscriber Identity). Poden ser semidúplex o dúplex, podent-ne limitar els drets de cadascun dels usuaris tant per enviar com per rebre.
 - Trucada de difusió: és una trucada unidireccional, des del centre de control cap als terminals, amb l'objectiu de difondre informacions a un grup d'usuaris.
 - Trucada prioritària: a la Xarxa TETRA del projecte, la prioritat es té en cua. Llavors, si un usuari amb prioritat alta fes PTT per parlar després d'un altre de menys prioritat, tot i que el segon portés més temps en cua, quan s'alliberés una trucada podrà parlar el de més prioritat abans.
 - Trucada d'emergència: en cas que la Xarxa estigui congestionada (amb tots els recursos ocupats) i un usuari tingui una emergència, aquest pot cursar una trucada d'emergència que farà que la Xarxa talli alguna trucada per tal que l'usuari pugui establir-ne la seva. Pot ser de tipus individual o de grup. Es tallarà la trucada amb menys prioritat i que més temps porti en curs.

- Diferents serveis de dades, com:
 - Dades curtes.
 - Commutació de circuits.
 - Commutació de paquets.
- I del conjunt de serveis suplementaris, es poden destacar:
 - Autorització de trucades pel despatx.
 - Incorporació tardana a una trucada en curs.
 - Prohibició de trucades.
 - Desviament de trucades.
 - Bústia de veu.
 - Escolta discreta i ambiental.
 - Assignació dinàmica de grup.
 - Interfuncionament i interoperabilitat.
 - Selecció d'àrees.
 - Prioritat d'accés.
 - Trucada prioritària.
 - Trucada de prioritat preemptiva (tenen màxima prioritat per accedir als recursos).

A1.3 Característiques radioelèctriques de TETRA

En aquest apartat s'especificaran les característiques relatives a la interfície ràdio: freqüències, potència, etc.

Característiques bàsiques de la interfície ràdio:

Les característiques bàsiques de la interfície ràdio de TETRA són:

- Canal de 25 KHz (opcio a 12,5 KHz).
- Multiaccés TDMA amb 4 intervals per trama.
- Modulació $\pi/4$ -DQPSK amb filtres conformadors de cosinus realçat, amb factor del roll-off $\alpha=0,35$.
- Velocitat de transmissió de 36 Kbits/s.
- Retard de multitrajecte màxim de $15\mu s$.
- Relació portadora/interferència: C/I = 19 dB.

La separació entre canals de RF és de 25 KHz i cadascun d'aquests està dividit en 4 intervals temporals, aconseguint així una capacitat equivalent a un radiocanal per cada 6,25 KHz. La separació dúplex (separació entre les freqüències de transmissió i recepció) és de 10 MHz per les bandes habituals.

El mètode d'accés múltiple és TDMA, mitjançant una estructura composta de hipertrames, multitrames, trames, intervals i subintervals. Aquest mètode permet que, tot i que l'estàndard només necessiti que tots els terminals puguin funcionar en mode semidúplex, un terminal pugui treballar en mode dúplex de

forma senzilla sense haver de transmetre i rebre a la vegada (sempre i quan es faci servir un sol interval en cada sentit). L'estructura es detallarà en els següents apartats (A1.3.5.).

La modulació usada és $\pi/4$ -DQPSK, que es una variació de la modulació quaternària de fase típica (QPSK) en la que cada símbol o parella de bits corresponen a una transició de fase, tal i com s'indica a la taula A1.2. A més, amb aquesta modulació s'arriba a una velocitat de transmissió de 36 Kbps.

Taula A1.2. Transicions de fase de la modulació $\pi/4$ -DQPSK.

Símbol	Transició de fase
00	$\pi/4$
01	$3\pi/4$
10	$-\pi/4$
11	$-3\pi/4$

Les estacions base (TBS, TETRA Base Station) treballen en dúplex, mentre que els terminals funcionen generalment en semidúplex (transmissió i recepció de freqüències diferents però no simultàniament) tot i que alguns fabricants ja disposen de terminals que aprofiten l'estructura TDMA per a oferir un servei dúplex sense haver de transmetre i rebre de forma simultània (dúplex - TDMA).

El correcte funcionament de l'enllaç per interfície ràdio requereix la participació de tres funcions auxiliars amb els seus corresponents protocols: sincronització, control del enllaç ràdio i linealització del transmissor.

L'exigència d'una canalització estreta, a 25 KHz, imposa la necessitat d'una modulació lineal ($\pi/4$ -DQPSK). Això implica la necessitat de linealitzar el transmissor ja que no es pot utilitzar un amplificador lineal classe A, a causa del seu consum. A més, el nivell de protecció del canal adjacent (-60 dBc) també obliga a tenir un alt grau de linealitat. La solució a aquest problema és l'ús d'amplificadors no lineals de consum molt baix per a allargar la duració de la bateria.

Pel que respecta a la sincronització, aquesta té a càrrec les següents tasques: adquisició pel receptor de freqüència i la temporització, ajust de la trama temporal per les transmissions a l'enllaç ascendent (mode V+D) i l'ajust de la base de temps de l'estació mòbil (mode V+D).

El control del enllaç ràdio executa les funcions de: control adaptatiu de la potència, selecció de cèl·lula i reselecció de cèl·lula.

A1.3.1 Freqüències:

Les bandes de freqüències proposades per al TETRA són les següents:

380-390/390-400 MHz
 410-420/420-430 MHz
 450-460/460-470 MHZ
 870-888/915-993 MHz

Si bé la disponibilitat d'aquestes freqüències depèn de la legislació de cada país, la banda 380-400 MHz (que està reservada per als cossos de seguretat pública) està disponible a la major part d'Europa per a TETRA, ja que ja estat alliberada per la OTAN amb aquesta finalitat.

En Espanya la Secretaria General de Comunicacions del Ministeri de Foment va disposar que en els sistemes trunking digitals per seguretat i emergències s'instal·laran en aquesta banda (concretament la banda 380-385 / 390-395 MHz).

A1.3.2 Potència de TBS i terminals TETRA

Pel que respecte a la potència de les TBS s'ha establert nou classes de potències, separades per intervals fixos de 2 dB, els valors dels quals s'identifiquen a la taula A1.3.

Taula A1.3. Potència de TBS segons classe⁷.

Classe de potència	Potència nominal por portadora (W)	Potència nominal per portadora (dBm)
1	40	46
2	25	44
3	15	42
4	10	40
5	6,3	38
6	4	36
7	2,5	34
8	1,6	32
9	1	30
10	0,6	28

Existeixen diferents tipus de potència dels terminals TETRA (mòbils i portàtils), que es classifiquen en quatre classes, tal i com es pot veure a la taula A1.4:

⁷ Es defineix la potència del transmissor com el valor mig de la potència mesurada en els bits útils d'una ràfega transmesa.

Taula A1.4. Classes de potència dels terminals TETRA.

Classe de potència	Potència nominal (W)	Potència nominal (dBm)
1	30	45
1L	17,5	42,5
2	10	40
2L	5,6	37,5
3	3	35
3L	1,8	32,5
4	1	30
4L	0,56	27,5

A més, aquests receptors poden ser de dos tipus, cadascun d'ells optimitzat per a treballar en un entorn determinat. La classificació és la següent:

Taula A1.5. Tipus de receptors i ús per al que estan optimitzats.

Tipus	Optimitzat per a ús:
A	Rural
B	Urbà

Per últim, a la taula A1.6 es mostra el nivell mínim de senyal que ha de rebre un terminal per a poder funcionar (sensibilitat del terminal). Aquest variarà dependent de si està o no en moviment (dinàmic o estàtic) i és el nivell exigit per l'estàndard TETRA.

Taula A1.6. Sensibilitat dels terminals TETRA.

Sensibilitat (dinàmica)	Sensibilitat (estàtica)
-103 dBm	-112dBm

A1.3.3 Modes d'operació

L'estàndard TETRA defineix dos modes d'operació, pels que es defineixen paràmetres freqüencials específics:

El Mode Troncal (TMO, *Trunked Mode Operation*) és aquell en que els terminals utilitzen la infraestructura de la Xarxa, és a dir, les estacions base per a les comunicacions, que poder ser dúplex o semidúplex. En Mode Troncal, la Xarxa RESCAT fa servir la banda de 380-400 MHz.

El Mode Directe (DMO, *Direct Mode Operation*) és aquell en que els terminals es comuniquen en mode símplex⁸, fent servir freqüències no controlades per la Xarxa, és a dir, sense utilitzar ni les estacions base ni la infraestructura de commutació.

S'ha de comentar també les solucions existents per tal de millorar la cobertura: *TMO Repeater*, *DMO Gateway*, *DMO Repeater* i *DMO Repeater/Gateway*, els requisits mínims dels quals es contemplen a l'estàndard TETRA. La seva definició funcional es fa a l'apartat 3.2 i a continuació es poden veure els seus esquemes funcionals.

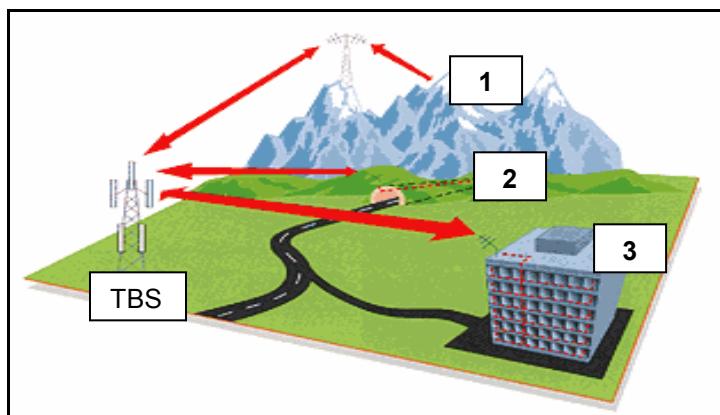


Fig. A1.2. Possibles escenaris de funcionament del TMO Repeater (1: exteriors, 2: túNELS, 3: edificis).

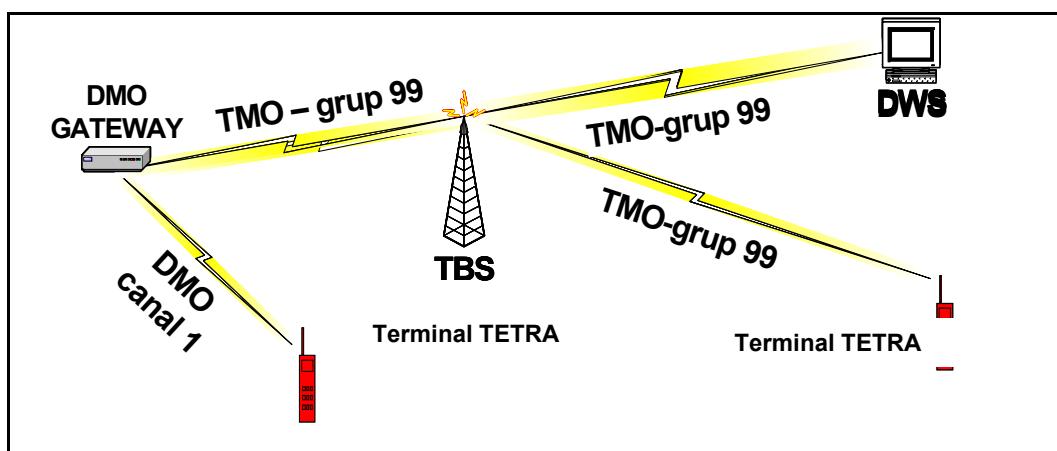


Fig. A1.3. Esquema funcional del DMO Gateway.

⁸ Amb símplex es refereix a que s'utilitza la mateixa portadora, tant per a rebre com per a transmetre.

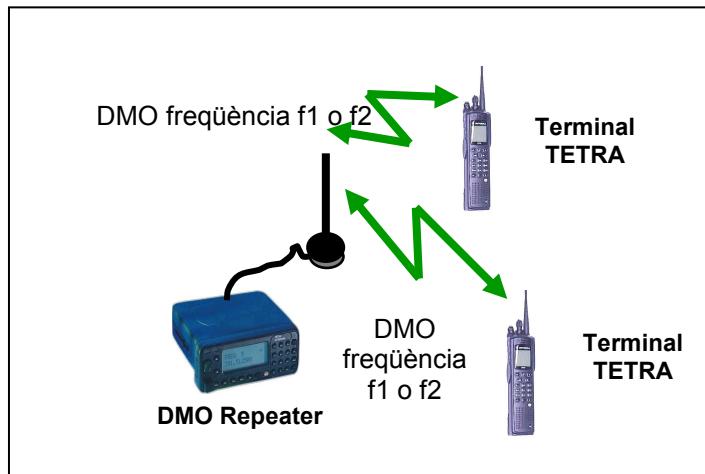


Fig. A1.4. Esquema funcional del DMO Repeater.

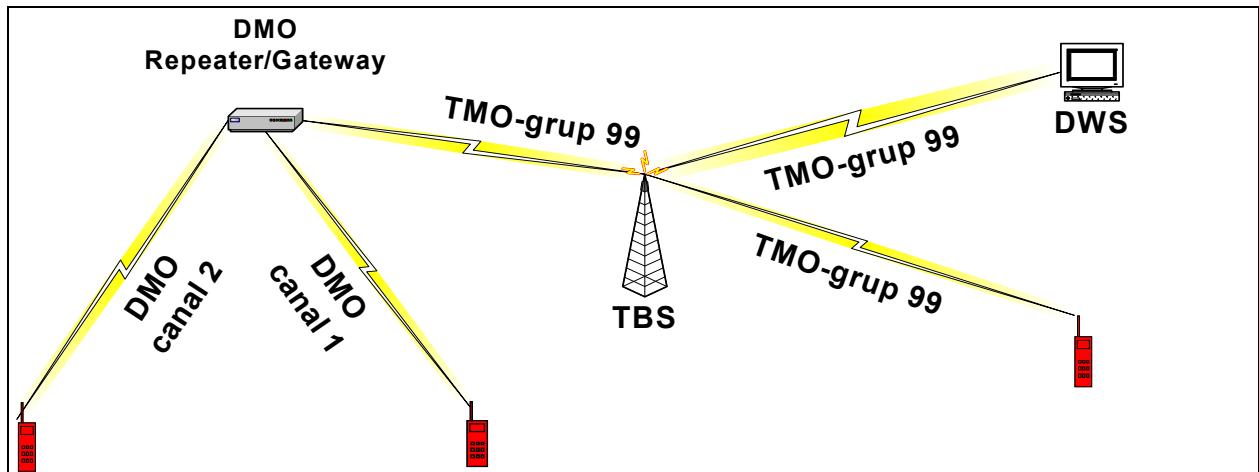


Fig. A1.5. Esquema funcional del DMO Repeater/Gateway.

A1.3.4 Característiques bàsiques del Mode Directe (DMO)

A la Xarxa RESCAT es fan servir canals de Mode Directe ubicats al voltant dels 391 MHz, separats cadascun d'ells per 50 KHz.

Les característiques principals del Mode Directe són les següents:

- A diferència del Mode Troncal, cada grup TETRA de Mode Directe és equivalent a un canal ràdio, és a dir, té una portadora assignada.
- La separació mínima entre canals es manté en 25 KHz.
- És símplex.

Existeixen dos tipus de Mode Directe:

- “Mode normal”: el Mode Directe permet una comunicació per portadora (cada portadora està formada per 4 slots de temps). Es fan servir dos i dos queden lliures.
- “Mode Eficiència espectral”: es fan servir els 4 slots, i per tant es possible establir dues comunicacions per portadora.

Les avantatges que el Mode Directe introduceix són les següents:

- Permet que els usuaris puguin comunicar-se entre sí, tot i que estiguin fora del àrea de cobertura de la Xarxa Troncal. Tot i que el seu abast és limitat.
- En cas que els usuaris que necessiten comunicar-se es trobin pròxims entre sí, poden fer servir el Mode Directe, evitant així fer servir recursos de la Xarxa.
- En cas que el tràfic de la Xarxa sigui elevat, el seu ús pot ajudar a disminuir-lo.
- Suposant que la Xarxa deixés de funcionar, podria servir per a que els usuaris que es trobin en una mateixa zona poguessin comunicar-se entre sí.

A1.3.5 Estructura de la Trama TDMA

Com ja s'ha comentat, TETRA és un sistema digital amb multiaccés per divisió en el temps TDMA i, per tant, cada usuari transmet i rep la informació en forma de ràfegues de bits, separades per intervals.

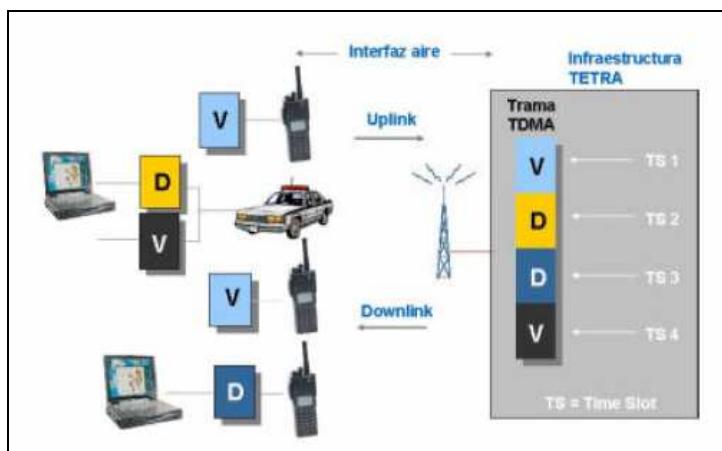


Fig. A1.6. Accés dels usuaris a la trama TDMA.

Per a l'aplicació de l'estàndard V+D, la tècnica de multiaccés TDMA segueix una estructura jeràrquica que es pot veure a la següent figura:

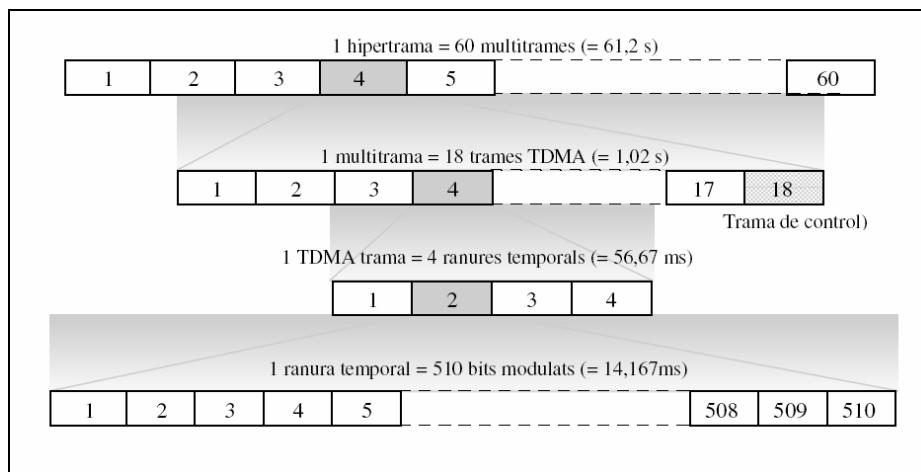


Fig. A1.7. Estructura de la trama TDMA.

Al nivell inferior de la jerarquia trobem el interval o slot que és la unitat bàsica de l'estructura TDMA. Aquest interval té una durada igual a $85/6$ (14,7)ms i una capacitat de 510 bits i, per tant, la seva velocitat de transmissió és de 36 Kbits/s ($510/(85/6)$). Com en tot sistema TDMA, el contingut en bits d'un interval rep el nom de ràfega. El següent nivell és la multitrauma, que es forma amb 18 trames, amb una duració de 1,020 segons. La trama número 18 de la multitrauma és la trama de control. I, per últim, el nivell superior és la hipertrama, formada per 60 multitrames i amb una durada de 61,2 segons.

Les trames corresponents als enllaços ascendent (Uplink, UL) i descendents (Downlink, DL) estan desplaçades en dos intervals. Això fa que els intervals de transmissió i de recepció d'un equip no coincideixin en antena, motiu pel qual resulta innecessari el duplexor d'antena.

Per a l'estàndard PDO, el mètode de multiaccés és doble: en l'enllaç ascendent es fa servir l'accés múltiple estadístic (STMA), i en el descendent el multiplexatge estadístic (STM). En aquest mode d'operació, els recursos bàsics són subràfegues per les quals es transmet informació a 36 Kbit/s. I cal dir que hi ha quatre classes de subràfegues per a l'enllaç ascendent i dues per al descendents, que són:

- Enllaç descendents: es pot parlar de subràfegues de sincronització i de subràfegues normals. Ambdues subràfegues tenen una durada de 6,67 ms i suporten 240 bits d'informació.
- Enllaç ascendent: es troba la subràfega d'arrencada que suporta 250 bits d'informació i té una durada de 6,94 ms; la subràfega parella que suporta 238 bits d'informació i té una durada de 6,61 ms; la subràfega senar, que té una durada de 6 ms i suporta 216 bits d'informació, i la subràfega final, que suporta 4 bits i té una durada de tan sols 0,11 ms.

Per últim, a cada interval es codifiquen 60 mseg. de veu dels 14,167 mseg., que equival a una capacitat de 510 bits. Així doncs, la taxa efectiva per a veu seria de 274 bits útils de 510 bits. Per a veu: $(274 \text{ bits/slot} \times 17 \text{ slots}) / 1,02 \text{ seg.} = 4,567 \text{ Kbps}$. I per a dades: 432 bits de 510, més senyalització, etc. Llavors: $(432 \text{ bit/slot} \times 17 \text{ slots}) / 1,02 \text{ seg.} = 7.2 \text{ Kbps}$. I per tant, la velocitat és de: $7.2 \text{ Kbps} \times 4 \text{ intervals} = 28.8 \text{ Kbps}$ transmissió en 1 trama TDMA (una portadora) sense protecció.

A1.3.6 Tipus de canals

A l'estàndard TETRA es defineixen dos tipus de canals: els físics i els lògics. El canal físic és l'interval de la trama TDMA i es pot transportar sobre diferents tipus de canals lògics. En canvi, els canals lògics presenten un camí de dades entre dos o més punts de la Xarxa i es poden dividir en dos grups:

1. Canals de control (CCH): transporten exclusivament missatges de senyalització i informació de dades en mode paquet. Poden ser de sentit descendent o ascendent, i es distingeixen 5 classes:
 - Canal de control de difusió (BCCH): és un canal descendent d'ús comú per a tots els terminals, pel qual es difon informació general (informació sobre la xarxa, identitats de les TBS, dades per a l'ajust de la freqüència dels terminals, així com de la sincronització temporal i de les seqüències d'aleatorització).
 - Canal de linealització (LCH): és un període de temps reservat a les TBS i terminals per a la linealització dels seus terminals.
 - Canal de senyalització (SCH): aquest canal s'utilitza per als missatges de senyalització comuns, de manera que totes les TBS ho comparteixen, si bé transporten en cada cas missatges concrets per a un terminal o un grup d'ells.
 - Canal d'assignació d'accés (AACCH): indica, per a cada canal físic, l'assignació dels intervals ascendent i descendents.
 - Canal robat (STCH): per aquest canal s'intercanvia la senyalització urgent associada a cada trucada.
2. Canals de tràfic (TCH): transporten missatges de veu i dades en mode circuit. Els canals de tràfic transporten missatges de veu o de dades mitjançant commutació de circuits. Es subdivideixen en canals "telefònics", que es designen amb la notació TCH/S i es fan servir únicament per a la transmissió de veu i en canals mixtes per a veu i dades, dels quals, segons la velocitat es defineixen:
 - TCH/7.2 (velocitat neta de 7.2 Kbps).
 - TCH/4.8 (velocitat neta de 4.8 Kbps).
 - TCH/2.4 (velocitat neta de 2.4 Kbps).

Un canal físic està format per un radiocanal, que és un conjunt de dues freqüències portadores, i un interval de temps. En virtut de l'estructura de multiaccés TDMA, cada radiocanal ofereix quatre canals físics. Tota TBS

disposa de radiocanals de dues freqüències, a on la superior es fa servir per l'enllaç descendant i l'inferior pel descendant. De canals físics es defineixen tres classes:

1. Canal físic de control (CP): es fa servir entre ràdio i Xarxa. Es dedica exclusivament al CCH.
2. Canal físic de tràfic (TP): per a tràfic de veu i dades. Es dedica exclusivament al TCH.
3. Canal físic no assignat (UP): canal lliure. S'utilitza per a la transmissió d'informació de difusió i missatges, i no és atribuït a cap terminal en particular.

El tipus de canal físic que s'utilitza en un interval determinat s'indica en el canal lògic AACH transmès en aquell interval.

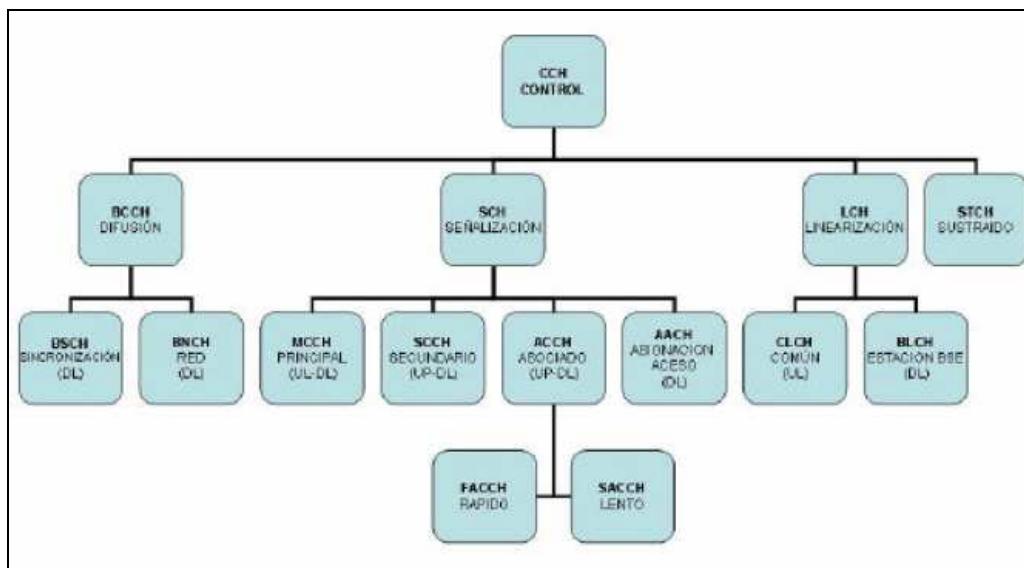


Fig. A1.8. Canals lògics de control (CCH).

A1.3.7 Gestió de cues i prioritats

L'estàndard TETRA estableix que els diferents usuaris de la Xarxa tenen assignat un valor de prioritat que permeten gestionar els recursos de la Xarxa en cas de saturació d'aquesta. Aquest sistema de prioritats afecta a tots els tipus de trucada i les trucades sense recursos restaran a l'espera creant una cua de trucades ordenada segons prioritats dels trucants o temps en cua. Per a mantenir-se en la cua d'espera es necessari mantenir pressionat el PTT dels terminals. A la següent figura s'il·lustra una cua de prioritats:

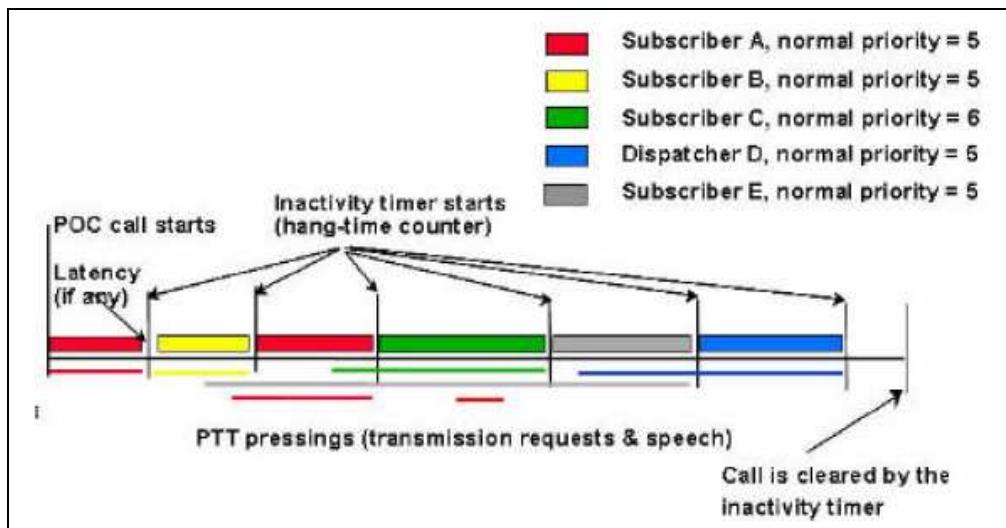


Fig. A1.9. Cua de prioritats.

En la Xarxa RESCAT cal distingir entre les prioritats de grup i les d'usuari. En les cues de les trucades de grup s'aplica la individual de cada usuari, de manera que si a la cua hi ha un usuari de major prioritat individual que un altre, tot i que porti menys temps a l'espera podrà accedir a la trucada abans (si no deixa anar el PTT). I en el cas de les trucades individuals es compara la prioritat del usuari que la vol cursar amb la del grup que té usuaris en una cua d'espera. A la DGESC, com a usuari de la Xarxa RESCAT, la prioritat del grup és major a la d'usuari per tal d'afavorir les trucades de grup. Per últim afegir que en una comunicació de grup l'últim usuari que ha parlat té prioritat per a recuperar el torn de PTT durant un breu espai de temps, tot i tenir una prioritat individual inferior als que estiguin a la cua.

A1.4 Serveis de dades

Existeixen tres tipus de comunicacions de dades a l'estàndard TETRA V+D:

1. *Status*: missatges d'estat.
2. *Short Data Services(SDS)*: missatges curts.
3. *Circuit switched data*: dades en mode circuit.

Els missatges d'estat són predefinitos amb un codi associat (0 - 65.535) que s'envia a la Xarxa en lloc del text del missatge. A més, són compatibles amb les trucades de grup i individuals. Segons el codi associat els missatges són destinats a diferents situacions que s'especifiquen a la taula A1.7.

Taula A1.7. Codis associats als missatges d'estat.

Valor	Descripció
0	Petició d'emergència
1 – 32767	Reservat
32768 - 36863	Aplicacions d'usuari (rang 1)
36864 – 40959	Aplicacions d'usuari (rang 2, amb confirmació)
40960 – 57343	Aplicacions d'usuari (rang 3)
57344 – 61439	Aplicacions d'usuari (rang 4, amb confirmació)
61440 – 63999	Aplicacions d'usuari (rang 5)
64000 – 64255	Status Indicators
64856 – 65023	Aplicacions d'usuari (rang 6)
65023 - 65279	Predefinits (Callback request,...)

Aquests missatges d'estat s'envien pel canal de control i es fan servir per múltiples aplicacions, com per exemple, si el terminal té programat un missatge associat a un codi, quan el terminal el rebi, el que veurà per pantalla serà el missatge associat al codi.

De missatges curts, o SDS, hi ha diferents tipus, que es poden veure a la taula A1.8. Aquests missatges, que també s'envien pel canal de control, a Bombers tenen com a ús més important el que es fa a l'aplicació de localització de vehicles (veure annex 3).

Taula A1.8. Tipus de missatges SDS.

Valor	Tipus de SDS
0 ... 65535 (16 bits)	SDS tipus 1
0 .. 2^{32} – 1 (32 bits)	SDS tipus 2
0 .. 2^{64} – 1 (64 bits)	SDS tipus 3
Longitud variable fins a 1017 bits (127 caràcters)	SDS tipus 4
1120 bits (140 caràcters)	SDS TL

Pel que fa a les dades en mode circuit, presenten una velocitat variable en funció de si existeix single-slot o multi-slot. No obstant, a la Xarxa RESCAT actual no existeix la possibilitat de fer servir l'opció de multi-slot, i, per tant les dades es transmeten per un single-slot.

A l'Annex 3 s'amplia la informació referent al servei de dades en TETRA, posant especial atenció a les dades en mode paquet i a l'ús que es dóna actualment des de Bombers amb la Xarxa RESCAT.

ANNEX 2. Ús de les comunicacions a Bombers

El cos de Bombers pel que estem dissenyant el CCA fan servir bàsicament terminals TETRA per tal d'establir les seves comunicacions. I per tal d'entendre millor les seves necessitats de comunicació a continuació es descriu com s'estableixen les seves comunicacions i la seva estructura.

A2.1 Xarxa TETRA de Bombers

A continuació fem una descripció de la Xarxa d'estàndard TETRA de la que Bombers és usuari. La Xarxa actual compleix amb la majoria de les necessitats que poden tenir en matèria de comunicacions mòbils i amb l'estàndard TETRA ja descrit. Entre elles destaquen:

- Cobertura exterior de més d'un 95% del territori d'actuació (Catalunya).
- Elevat grau de servei, també en situacions d'emergència.
- Xarxa de transport fiable i redundant.
- Qualitat d'àudio.
- Permet les diferents trucades pròpies d'un sistema trunking, com la de trucada de grup, la individual i la d'emergència. A més, les trucades es poden configurar de forma que només impliquen als terminals del grup seleccionats.
- Els grups es poden definir designant els terminals autoritzats a fer-lo servir i l'àrea geogràfica de influència del grup.
- La gestió dels terminals autoritzats i/o àrees de influència que es poden fer dinàmicament.
- Possibilitat de realitzar una trucada individual entre 2 terminals.
- Possibilitat de fer trucades en Mode Directe, és a dir, sense fer servir la infraestructura de la Xarxa.
- Possibilitat de inserir prioritats entre flotes i entre grups de terminals de forma dinàmica.
- Restricció de trucades tant individuals com telefòniques, en funció del tipus d'usuari.
- Transmissió de missatges per a enviar la posició GPS d'un vehicle al mateix temps que es realitza una comunicació de veu.

A2.2 Estructura de la Xarxa

La Xarxa actual consta de 133 TBS que donen una cobertura teòrica a aproximadament més d'un 95% del territori (Catalunya). La majoria tenen 1 ó 2 portadores (4 o 8 canals) amb una estructura de trama com la descrita a l'Annex 1 (apartat A1.3.6).

Les comunicacions s'organitzen en grups i no en canals, de forma que una mateixa TBS pot donar cobertura a més d'un grup. Així doncs, la cobertura d'un

grup es defineix pel solapament de la cobertura de les TBS de la Xarxa que es decideixi que han de donar servei a un grup. Decisió que sol seguir el criteri d'assignar les TBS que donen servei en el territori habitual de servei, tot i que hi ha grups que tenen assignades totes les TBS de la Xarxa (grups globals). A més, gràcies a la funcionalitat de Xarxa coneguda com a "Area Shifting", una comunicació de grup només ocupa un canal de les TBS que tinguin terminals connectats amb aquell grup seleccionat (a més de la TBS des de on es fa la transmissió).

Concretament a Bombers els grups de la Xarxa RESCAT s'assignen per comarca, de forma que els bombers que actuen a una comarca determinada fan servir habitualment un grup assignat a ella. A més, també existeix un segon grups de comarca per si es donen incidents simultanis a una mateixa comarca. En canvi, si els bombers han de sortir fora de la seva comarca d'actuació hauran de fer servir el grup de la comarca on actuïn per tal de comunicar-se amb control i amb la resta de bombers. Per exemple, els bombers la comarca del Vallès Occidental fan servir habitualment el grup 101 i a més també disposen del grup 102 per si es donen 2 serveis simultanis. Però si hi haguessin més sinistres o hi hagués un amb tants mitjans que es necessitessin fer servir més grups, existeixen el que s'anomenen grups globals o de Regió. Aquest grups tenen incloses totes les TBS de la Xarxa, fet que permet fer-los servir en qualsevol lloc. A més tots els terminals ja els tenen programats i en cas d'haver de fer-los servir poden canviar fàcilment.

No obstant, cal afegir que l'estàndard TETRA permet que la definició dels grups no quedi supeditada a la disponibilitat i ubicació de les TBS, facilitant el seu disseny estratègic i dinàmic en funció de les necessitats concretes del usuari. És a dir, si una dotació de bombers està treballant en una determinada zona, es poden associar al grup que fan servir per a comunicar-se totes les TBS que donin cobertura en aquella zona.

Així doncs, l'assignació de TBS a grups es fa a partir de prediccions teòriques fetes amb un software específic i a partir de mesures fetes sobre el terreny, per determinar les TBS que donen cobertura a les diferents zones d'actuació. D'aquesta forma s'intenta evitar que els terminals es connectin a una TBS no definida en el grup que tinguin seleccionat, ja que aquest fet provocaria que el terminal passés a un estat de "No disponible" (tindria cobertura de Xarxa però no podria comunicar-se amb el grup seleccionat). Per últim dir que aquest fet és possible perquè el terminal és qui decideix a quina TBS es connecta en funció del nivell de potència de recepció de les diferents TBS de les que rep senyal superior a la seva sensibilitat.

La definició de grups, la associació de TBS i l'assignació dels grups que tenen accés es realitza des d'una estació de despatx (DWS, *Dispatcher Workstation*) amb drets de gestió (mode tècnic). D'aquest tipus de DWS es disposa d'un per província. El DWS permet gestionar fàcilment els grups d'usuaris, podent realitzar (en funció dels privilegis amb els que s'accedeixi a l'aplicació):

- Canvi de propietats dels grups o dels usuaris.
- Donar d'alta o baixa algun grup o usuari.

- Configurar les TBS que donen cobertura a un determinat grup.
- Fer el seguiment dels terminals que estan registrats en un grup, així com la TBS a la que es troben connectats.

Tot això només es pot fer accedint en mode tècnic, però també existeix el mode Operador. Aquest el fan servir els operadors del centre de control per a donar recolzament, gestionar i coordinar l'actuació dels bombers. Amb el DWS l'operador pot fer i rebre trucades de grup o individuals, a més de poder atendre les trucades d'emergència que un terminal pugui fer (prioritat preemptiva).

En la tasca de gestió l'operador disposa d'una altra aplicació de tipus SIG (Sistema de Informació Geogràfica) que permet visualitzar la posició dels vehicles de bombers en temps real i sobre mapes de diferents escales. Aquest sistema es pot implementar gràcies al receptor GPS que tots els vehicles porten instal·lats juntament amb el terminal TETRA, ja que és a través seu com s'envien les posicions en forma de missatges de tipus SDS. Els aspectes referents a aquesta aplicació s'expliquen a l'Annex 3, ja que és un factor a tenir en compte a l'hora de fer un dimensionat del tràfic TETRA.

Per últim dir que les TBS es controlen des d'un commutador anomenat DXT (Digital Exchange for TETRA), i les 133 TBS de la Xarxa actual es gestionen amb 5 DXT. A mode de resum en la figura A2.1 es pot veure un esquema de la Xarxa:

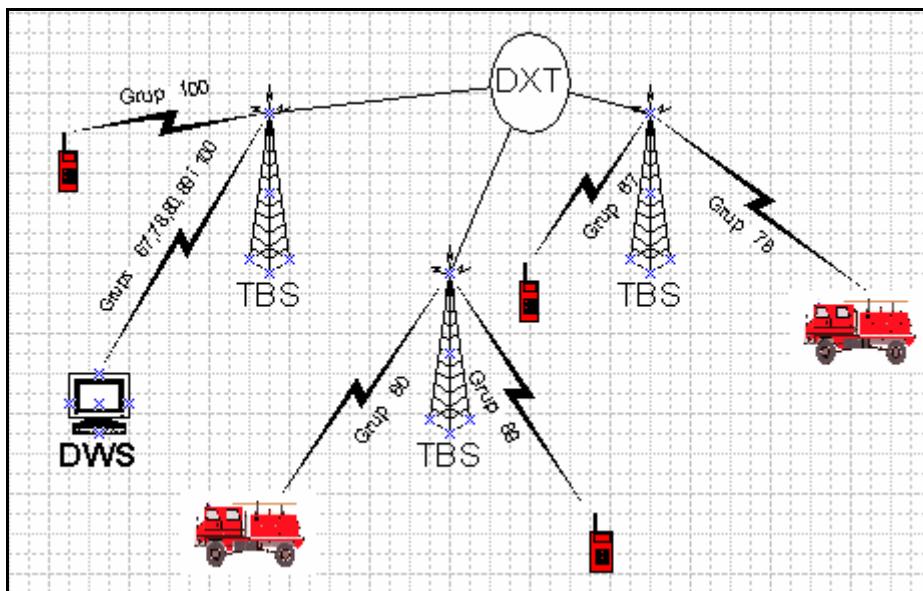


Fig. A2.1. Estructura bàsica de la Xarxa TETRA d'aquest projecte.

A2.3 Gestió i ús de la Xarxa

A2.3.1 Tipus de terminals

Els terminals que els bombers fan servir a la Xarxa són de dos tipus:

- Terminal portàtil: en té tot el personal operatiu (per exemple als parcs hi han tants terminals com bombers hi treballen diàriament).
- Terminal mòbil: hi ha un instal·lat a cada vehicle operatiu. També s'instal·len en els mitjans aeris (helicòpters i avionetes). I també hi ha un a cada parc de bombers així com als centres de control, a on serveixen de backup en cas que fallessin els DWS.

El terminal portàtil té les següents característiques:

- Sensibilitat estàtica del receptor: -112 dBm.
- Sensibilitat dinàmica del receptor: -103dBm.
- Potència de transmissió en mode Directe: 1 W (classe 4 de l'estàndard).
- En Mode Troncal existeix un control de potència automàtic per tal que el terminal estalviï el màxim d'energia, transmetent amb més o menys potència en funció de les dades rebudes de la TBS.

Com ja s'ha comentat, els vehicles tenen instal·lat un terminal mòbil que té les següents característiques:

- Potència de transmissió de 10 W (classe 2 de l'estàndard).
- La sensibilitat estàtica i dinàmica del receptor és la mateixa que per al terminal portàtil.
- També existeix un control automàtic de potència.
- Té connectat un receptor GPS a través d'un port sèrie. Les dades rebudes des del receptor GPS el terminal les envia a través del canal de control de la trama TETRA, en forma de missatges SDS de tipus 4.

Els terminals mòbils instal·lats als parcs i centres de control tenen millor rendiment que els dels vehicles ja que es fan servir antenes de guany, assegurant un bon nivell de cobertura en tot moment i un major radi d'abast en cas de fer servir el Mode Directe.

A2.3.2 Mode d'actuació (cas concret del foc forestal)

Els centres a on els bombers fan guàrdia s'anomena parc i el centre que rep, coordina i gestiona les incidències rep el nom de Control Central (CC). En el Control Central estan els responsables (caps de guàrdia) de coordinar els parcs en cas d'emergència i també estan els operadors que s'encarreguen de coordinar les comunicacions amb tots els mitjans que estan implicats. De controls n'hi ha 6, un per cada Regió d'Emergències, que coincideix amb les províncies de Catalunya, excepte la de Barcelona que es divideix en 3 Regions d'Emergències. I cada regió té sota el seu control els parcs que es troben

ubicats al seu territori, amb els que es poden comunicar en qualsevol moment ja que els operadors del centre de control sempre estan a l'escola dels grups de cada comarca (a través del DWS). La majoria de comunicacions que es fan són de grup, tot i que els comandaments fan ús de les trucades individuals en alguns casos.

Cada parc té assignat dos grups per a treballar dins la seva zona (comarca) i un canal de mode directe. Només en cas de desplaçar-se a una altra zona diferent a l'habitual (una altra comarca) canviaran de grup per comunicar-se, però sempre seguint les indicacions que es donin des del Control Central de la seva Regió. A més, existeixen uns grups globals anomenats de trànsit, que permeten parlar amb els diferents controls des de qualsevol punt del territori. Aquests grups es fan servir per a coordinar l'arribada d'efectius a un sinistre que tingui lloc tant dintre com fora de la seva Regió d'Emergències.

En cas que a control arribi l'avís d'un sinistre, aquest activa al parc més proper al punt on hagi succeït. Els bombers es comuniquen amb el parc i amb el control a través del terminal mòbil que hi tenen instal·lat, fent servir el seu grup habitual. En canvi entre els bombers que intervenen al sinistre es comuniquen en Mode Directe, ja que en cas que el incident es produueixi a l'interior d'un edifici la cobertura de Xarxa sol ser deficient o nul·la. No obstant, des del vehicle es manté la comunicació amb el Control Central amb el terminal propi del vehicle, que sempre es manté en mode "Xarxa" (amb un grup seleccionat).

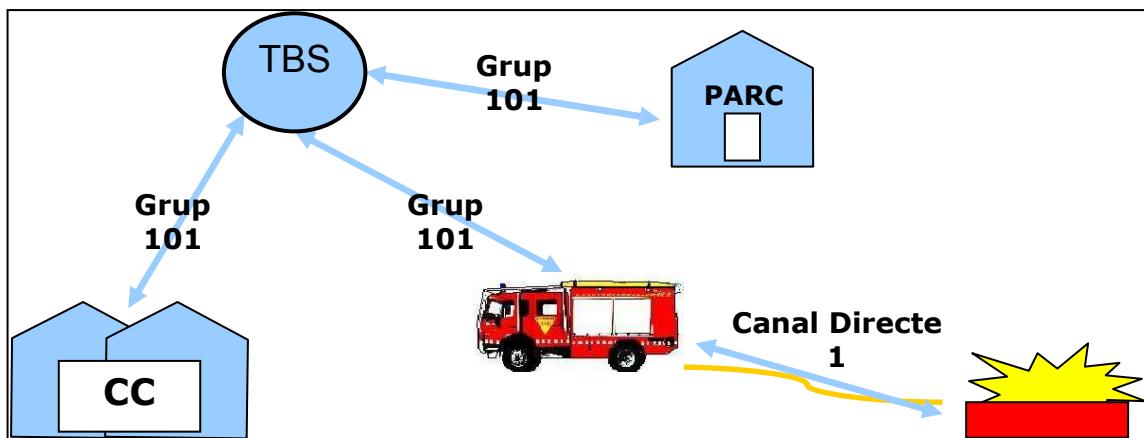


Fig. A2.2. Configuració de les comunicacions en una primera sortida.

Quan el sinistre es de gran magnitud, com per exemple un gran foc forestal, es fa necessària l'actuació de vehicles de diferents parcs i es duu a terme una sectorització de les comunicacions. Aquesta sectorització es difícil de dur a terme en sinistres de tipus urbà ja que la zona d'afectació del sinistre està molt ben delimitada. En canvi, en focs forestals a on la superfície d'afectació és molt extensa és més fàcil, ja que s'assigna un grup a cadascun dels fronts d'actuació a on hi ha un responsable (tot i que no sempre es duu a terme correctament). A més, per a agilitzar les comunicacions entre els responsables de cada zona i el Control Central (o el CCA) es fa servir un altre grup diferent.

A les següents figures es pot veure una evolució de la sectorització d'un sinistre, on primer hi ha pocs mitjans actuant i uns altres en camí i, si el sinistre és fa de gran magnitud, el nombre de mitjans és tan elevat que la sectorització de la zona del foc és necessària.

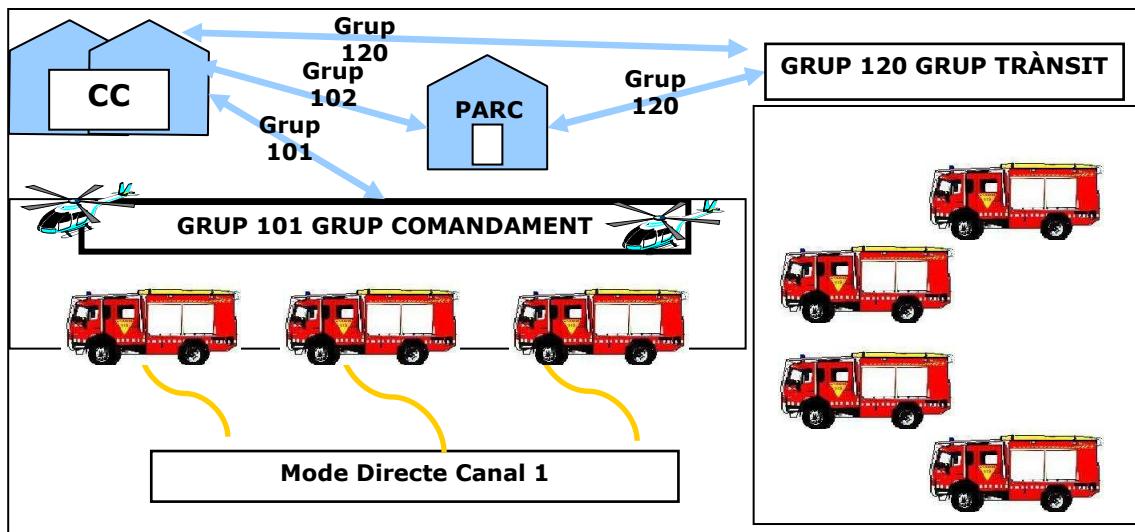


Fig. A2.3. Sectorització de les comunicacions als inicis d'un sinistre.

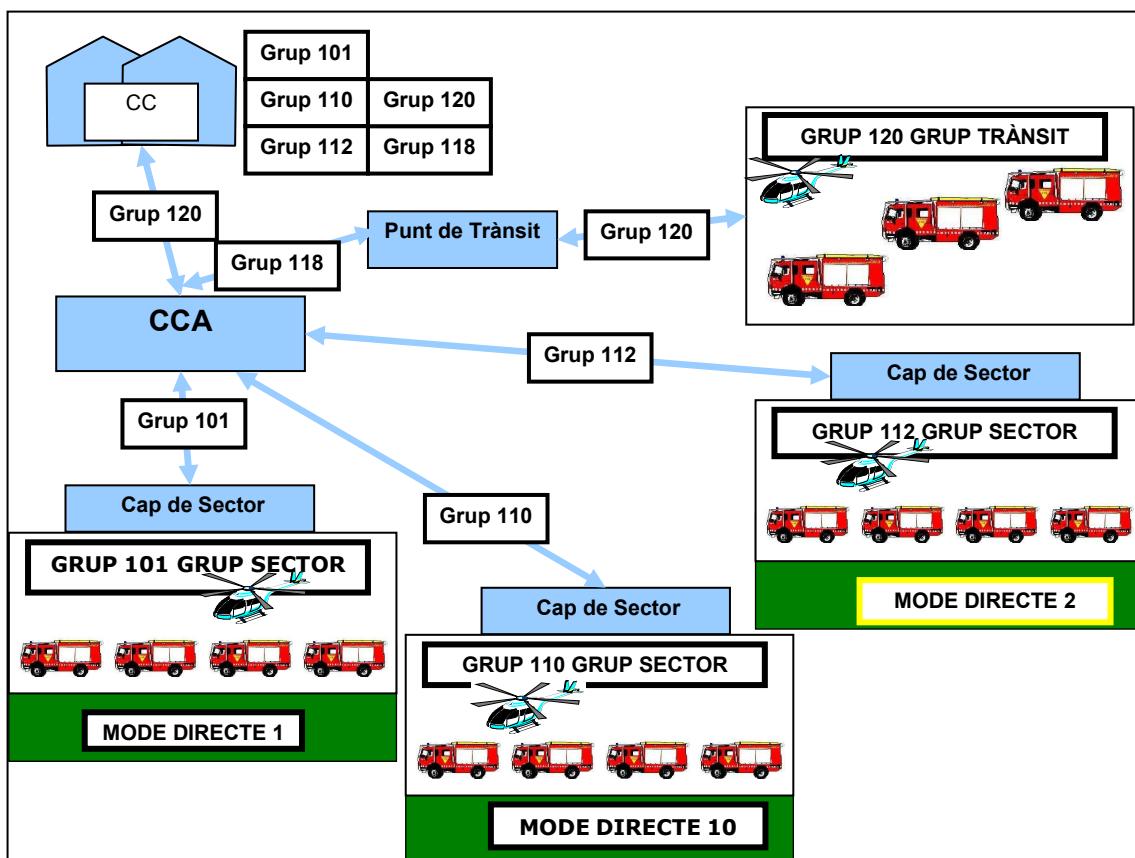


Fig. A2.4. Sectorització de les comunicacions en un gran foc forestal.

En aquesta darrera figura es mostra que juntament amb el CCA hi ha el punt de trànsit. Aquest punt de trànsit no és més que un vehicle que, sobre el terreny, indica als vehicles que van arribant al foc, la zona on han de dirigir-se per a actuar (facilitant-los un plàtol). El grup que es fa servir entre el punt de trànsit i el CCA també es pot considerar de coordinació dels diferents comandaments.

Per últim, cal recordar que entre els vehicles i els bombers desplegats es fa servir el Mode Directe, en un canal diferent segons la zona d'actuació. Normalment el canal que es fa servir és igual a la última xifra del nombre del grup assignat a la zona o sector. En cas que la darrera xifra sigui un zero, el canal que s'assigna és el nombre 10. Els canals de Mode Directe estan preprogramats a tots els terminals (portàtils i mòbils), i amb la configuració actual amb 10 n'hi ha suficients. Així mateix, el criteri d'assignació de canal de Mode Directe és pràctic i no pas tècnic ja que d'aquesta manera hi ha menys probabilitat de confusió.

És el conductor del vehicle el que fa de pont entre el Control Central o els responsables, que es comuniquen amb un grup de Xarxa, i els bombers que intervenen al sinistre i que treballen en Mode Directe. Aquest bomber s'ubica a la part posterior del cotxe, on ha de manipular la bomba d'aigua, on disposa d'un micròfon i un altaveu connectats al terminal propi del vehicle, per tal de parlar en Xarxa. A més del terminal del vehicle, el bomber disposa d'un terminal portàtil, en el que té seleccionat el mateix canal de Mode Directe que els seus companys per poder parlar amb ells.

ANNEX 3. Serveis de dades TETRA: aplicació a Bombers

A3.1 Evolució dels serveis de dades: TETRA Release 2

Les aplicacions de dades amb TETRA fins ara han utilitzat els serveis de dades per a enviar missatges freqüents amb molt poca informació. Les aplicacions que s'implementen fan servir missatges d'estat o bé els SDS per a aplicacions AVL (Automatic Vehicle Location). Aquestes aplicacions funcionen correctament amb la versió de TETRA Single Slot Packet Data, però els requeriments dels usuaris augmenten, i es fa necessària una major taxa de transmissió (TETRA Single Slot Packet s'ha comprovat que ofereix un màxim de 3 Kbps) . Amb una taxa major es podrien transferir fitxers, imatges de baixa definició, etc., que es podria assolir amb l'ús de TETRA Multi Slot Packet Data. Tot i que amb aquesta "versió" de TETRA la taxa que es pot arribar a assolir sembla insuficient, i per això en els darrers anys s'ha començat a desenvolupar un nou estàndard , TETRA Release 2. Avui en dia l'evolució de l'estàndard es troba entre TETRA 1 Multi-Slot i TETRA 2 High Speed data. Però encara hi ha moltes xarxes que no disposen ni tan sols de multi-slot (la Xarxa RESCAT és un exemple). A la següent figura es mostra l'evolució del estàndard, pel que a dades es refereix:

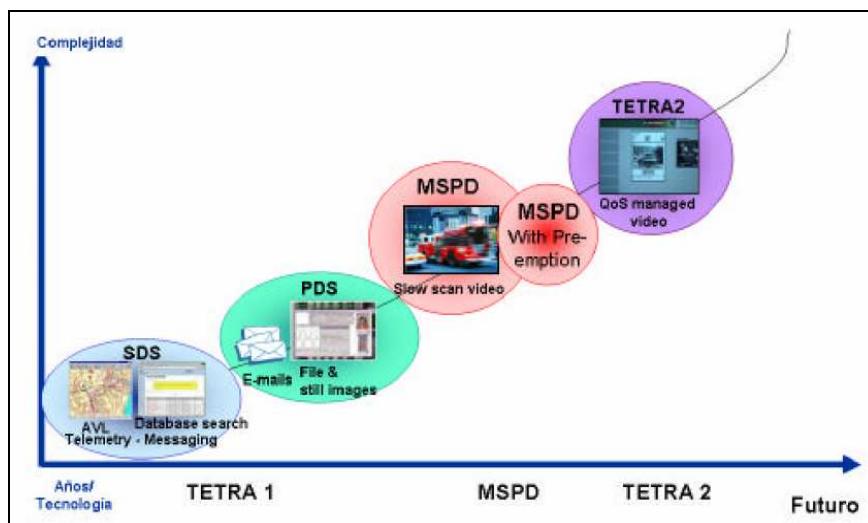


Fig. A3.1. Evolució del estàndard TETRA de dades [10].

Aquesta versió evolucionada ha de permetre ampliar les funcions i capacitats del sistema, i els entre els seus requeriments bàsics (del TETRA Release 2) destaquen dos:

- Compatibilitat total amb la versió anterior.

- Augment de la velocitat de transmissió de dades, com a mínim 10 vegades més respecte a l'actual.

A més, en l'actualitat hi ha dues tendències diferents de per on ha d'anar el nou estàndard, però cap d'elles és una realitat. Les dues tendències s'anomenen TAPS (TETRA Advanced Packet Service) i TEDS (TETRA Enhanced Data Service). A la figura següent es mostra un esquema general de les dues opcions amb les seves característiques principals. S'ha de destacar que aquestes tendències centren els canvis en la millora del servei transmissió de dades, especialment en mode paquet.

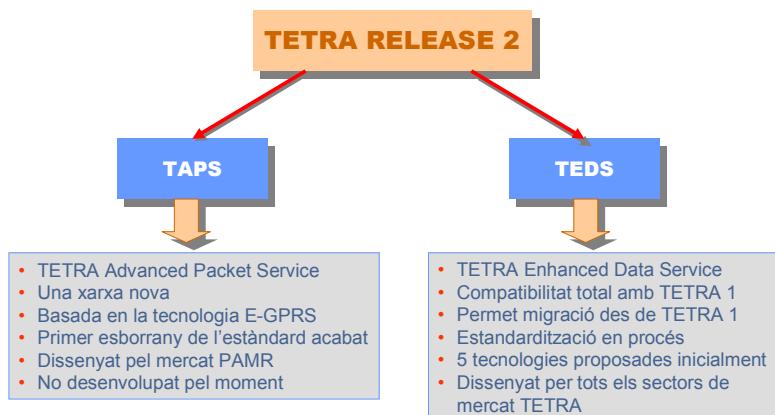


Fig. A3.2. Tendències del TETRA Release 2 [10].

Les possibles aplicacions del servei de dades és en aplicacions com: localització de vehicles (AVL), recerca de bases de dades, correu electrònic, transferència de fitxers i vídeo de baixa velocitat. Aplicacions que podrien funcionar amb el sistema TETRA actual, però amb unes prestacions molt baixes, sobretot les 3 últimes. A la taula següent es mostra un quadre resum de les possibles aplicacions del servei de dades i les seves prestacions, en funció de les diferents versions de TETRA (cal recordar que la xarxa de la que Bombers és usuari es troba en TETRA 1 Single Slot PD).

	TETRA 1 single slot circuit data	TETRA 1 SDS	TETRA 1 Single slot PD	TETRA 1 multislot PD	TETRA 2 High Speed Data
Consulta Bases de Dades		★	★	★	★
AVL		★	★	★	★
Email			★	★	★
Transferència Fitxers			★	★	★
Video lent limitat				★	★
Video amb QoS					★
No disponible		Possible	Apropiat		

Fig. A3.3. Aplicacions possibles a cadascuna de les versions de TETRA [10].

A3.2 Aplicacions de dades a Bombers

A la Xarxa RESCAT Bombers fan ús tant dels missatges d'estat com dels SDS de tipus 4. Els d'estat es fan servir per a transmissió de missatges preprogramats a cadascun dels terminals, de manera que només amb la pulsació d'una tecla l'usuari pugui enviar un determinat missatge.

Pel que fa als SDS es fan servir per a diferents propòsits, però l'ús principal és per a l'aplicació de localització de vehicles. A Bombers aquesta aplicació és un SIG (Sistema d'Informació Geogràfica) desenvolupat per personal propi, i que aprofita la infraestructura de la Xarxa RESCAT per a que cada vehicle envii la seva posició en forma de missatges SDS. Al següent apartat es detalla el seu funcionament.

A3.2.1 Aplicació SIG de Bombers

A la següent figura es mostren les diferents fases que es poden distingir en el funcionament del SIG de Bombers , pel que fa a la transmissió de dades:

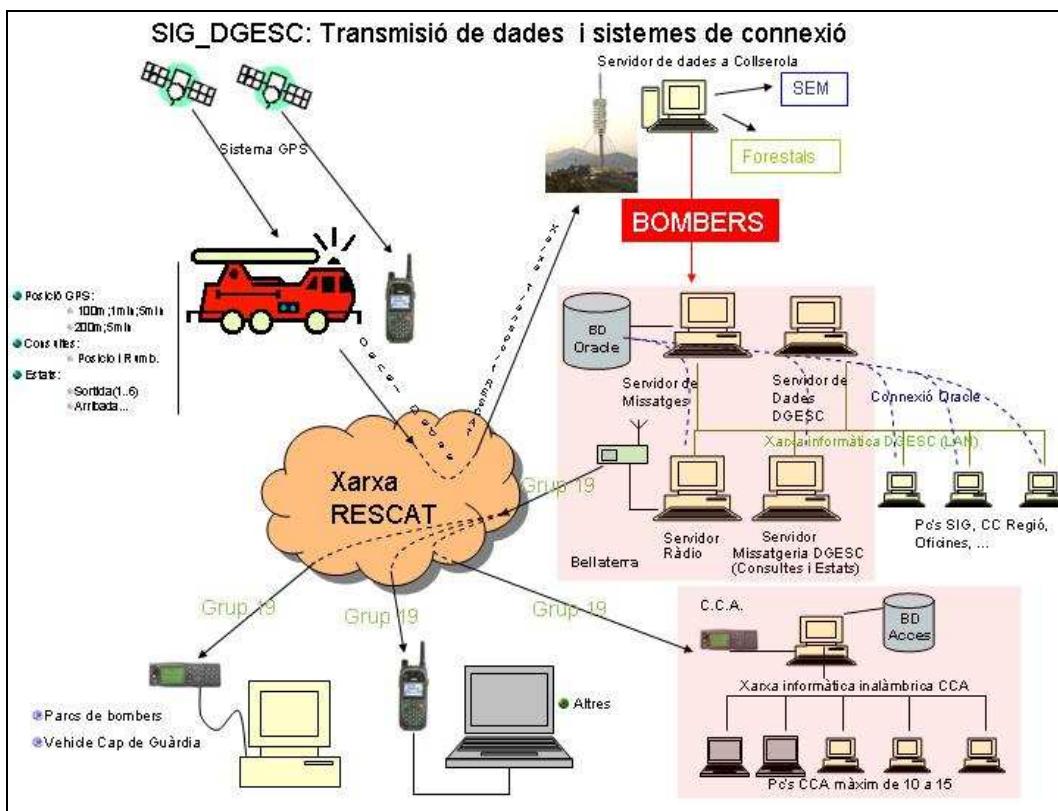


Fig. A3.4. Fases de la transmissió de dades en l'aplicació SIG de Bombers.

A continuació es detallen cadascuna de les fases que es poden veure a la figura anterior:

❖ Vehicles amb GPS – Xarxa RESCAT – Servidor de dades:

Això és possible perquè cada vehicle disposa d'un terminal TETRA connectat a un receptor GPS (hi ha terminals TETRA que ja porten integrat el receptor GPS) i el receptor GPS es pot programar per a que cada cert interval envii la darrera posició que ha calculat, a través del port sèrie i el terminal TETRA en rebre-la l'envia com a un missatge SDS a un element de la Xarxa RESCAT (el servidor de missatgeria).

Els vehicles disposen d'un receptor GPS, que reben les posicions dels satèl·lits del sistema GPS. Aquesta posició s'envia mitjançant un missatge de text (SDS) a través de la Xarxa RESCAT i arriba fins a un servidor de dades situat a Collserola.

La freqüència d'enviament de posicions de cada vehicle depèn de l'equipament que tingui:

- Els vehicles nous (arribats a partir de Juny de 2005) porten un nou model d'emissora (SRG2000) amb el GPS integrat i que està programat per enviar posició cada 200 metres o cada 5 minuts (el que passi abans).
- Els vehicles anteriors porten una unitat de GPS externa (K8), comunicada amb la CPU de l'emissora (SRM1000) i que està programat per enviar cada 100 metres, amb un màxim d'una posició per minut i un mínim d'una cada cinc minuts.

❖ Collserola – Seu Central (Bellaterra) – Clients SIG:

Un cop arribats a Collserola, els missatges de la flota de vehicles de Bombers s'envien cap a Bellaterra on hi ha també un servidor de dades que insereix les posicions en una BD Oracle, on faran consultes els clients amb el programa SIG instal·lat.

De clients SIG es poden distingir de 3 tipus:

- Clients connectats a la Xarxa de la DGESC (via LAN):

Són usuaris connectats a la Xarxa de la DGESC (o que hi tenen accés) i que obtenen les posicions directament de la BD Oracle.

- Clients connectats via ràdio (Servidor via ràdio):

A Bellaterra es troba un altre servidor, connectat a la LAN de la DGESC i a una emissora de la Xarxa RESCAT (Sepura SRM2000), que reenvia les posicions que rep del servidor de dades comprimides en missatges de text. Aquests missatges s'envien al grup 19, de forma que tots els clients que tinguin una emissora de la Xarxa RESCAT i seleccionin el grup 19, en connectar l'emissora a un PC amb l'aplicació SIG_DGESC instal·lada podran veure també les posicions del vehicles.

Per disposar d'una connexió via ràdio, s'ha de tenir un terminal RESCAT (mòbil o portàtil) connectat a un PC (amb l'aplicació SIG_DGESC instal·lada) amb el grup 19-SIG_DGESC en funcionament (grup que es programat a les emissores de Bombers).

La freqüència de recepció de posicions és cada 5 segons sempre que quedin dades noves per enviar. El màxim nombre de mòbils per missatge és de 14. Les posicions s'actualitzaran en pantalla cada cop que es rebin dades de posicions, i com a mínim un cop per minut. Si l'aplicació no rep dades en 60 minuts reiniciarà automàticament el terminal de ràdio.

- **Clients del CCA (LAN inalàmbrica):**

En el CCA es fa servir també el SIG via ràdio però amb la particularitat que només hi ha un PC connectat a una emissora (SRM1000) amb el grup 19 seleccionat, de la que rep les posicions dels vehicles.

Aquest mateix PC té una BD Access on va escrivint les posicions que va reben i forma part d'una xarxa inalàmbrica de la que ell és el servidor de posicions. D'aquesta manera la resta de PC que es connectin a la xarxa Wi-Fi i que tinguin l'aplicació SIG instal·lada, podran veure les posicions dels vehicles sense necessitat de tenir una emissora connectada.

❖ **Consultes i enviament de missatges d'estat:**

En el mateix PC on està instal·lat el servidor ràdio es troba el servidor de missatgeria de la DGESC que atén peticions de consulta de posició i rumb, fetes des d'alguna emissora. Un cop rebuda la petició, el servidor consulta a la BD Oracle i contesta amb un missatge de text amb la darrera posició GPS rebuda del vehicle (o portàtil SRP300GPS) demanat o el rumb respecte del vehicle demandat.

ANNEX 4. Càlcul de tràfic: formulació i simulacions

En aquest annex a més d'explicar com s'han fet els càlculs presentats al capítol 3, també es mostraran les simulacions fets amb el software deixat per la UPC [8] que serviran per tenir una dimensió dels resultats obtinguts al capítol 3.

A4.1 Mètode de càlcul i aplicació a la Xarxa RESCAT

A4.1.1 Mètode de càlcul emprat: distribució Erlang C

El càlcul del tràfic generat pels usuaris de Bombers de una manera exacta no és possible perquè la majoria de comunicacions es realitzen durant les emergències que han d'atendre. Tot i que hi ha una activitat rutinària, el tràfic que es genera és insignificant comparat al que es genera durant les emergències. No obstant això, en aquest projecte s'ha fet una aproximació basant-se en l'anàlisi que s'ha fet de l'organització de les comunicacions a Bombers (annex 2), i l'estadística feta a partir de gravacions de les comunicacions durant focs forestals. A més, s'han consultat diversos informes elaborats per la Secció de Telecomunicacions amb dades sobre l'ús de les comunicacions, com per exemple: nombre de grups usats, nombre de TBS a les que es connecten, etc. I a l'hora de fer els càlculs de tràfic s'han distingit: tràfic generat pels usuaris 'tipus' i tràfic generat per un grup 'tipus' (que vindrà donat per la suma del conjunt dels usuaris 'tipus' que l'integren).

En primer lloc s'ha de calcular el tràfic que un usuari 'tipus' genera en l'hora carregada, que es calcula a partir de la fórmula que es veu a continuació:

$$A = \frac{M \times L \times H}{3600} \text{ [Erlangs]} \quad (\text{A4.1})$$

On: A = Tràfic Ofert; M = nombre de terminals actius; L = nombre mig de trucades per terminal d'usuari 'tipus' en l'hora carregada (suma de períodes de major activitat, fins a totalitzar 60 minuts); H = duració mitja d'una trucada.

Un cop calculat el tràfic s'ha de fixar el GoS (Grau de Servei), tenint en compte que en un sistema PAMR el paràmetre més important és la probabilitat de demora d'una trucada, ja que en aquests sistemes les trucades que no es poden cursar es posen en cua i no es perden. Llavors el criteri per a establir el GoS és la probabilitat (en %) d'haver d'esperar més temps que un valor fixat i la fórmula que es fa servir per a calcular-la és la d'Erlang C (cua M/M/C), a partir de la qual es poden obtenir la resta de paràmetres de qualitat del sistema. En fer els càlculs amb aquest model es suposa que: la taxa de peticions de canal

segueix un model de Poisson i que la duració de la trucada és determinista. Però segons un estudi sobre sistemes PAMR [11], amb aquest model es sobredimensiona els paràmetres de qualitat, ja que les distribucions de les arribades de les trucades són més suaus i les trucades fixes són menys disperses que la resta de possibles distribucions.

D'altra banda amb un software facilitat per la UPC [8] s'han fet simulacions a partir de les mateixes taxes d'usuaris calculades al capítol 3, però suposant una distribució estadística de la duració de les trucades així com l'existència de trucades d'emergència (tot i que en la xarxa TETRA de Bombers el nombre de trucades d'emergència és gairebé inexistent). Per tant, els resultats de les simulacions poden servir per determinar quant estan de sobredimensionats els càlculs.

Llavors com s'ha dit, per a calcular el GoS es fa servir la fórmula *d'Erlang C* que es pot veure a continuació:

$$C(N, A) = \frac{A^N}{A^N + N!(1 - A/N) \sum_{k=0}^{N-1} (A^k / k!)} \quad (\text{A4.2})$$

On N és el nombre de canals i A és el tràfic generat. Llavors es pot calcular el GoS que s'obté en funció del tràfic generat i el nombre de canals:

$$GoS(N, A) = \Pr(W > W_0) = C(N, A) \cdot \exp[-(N - A) \cdot W_0 / H] \quad (\text{A4.3})$$

On W és la duració de la trucada, W_0 és el temps màxim d'espera, que en els càlculs fets es fixa a 5 segons (criteri fixat per Bombers) i H és la duració mitja d'una trucada. Per tant, el GoS serà la probabilitat (en %) que el temps mig d'espera d'una trucada (en cas que el canal estigui ocupat) sigui superior a 5 segons. I el GoS que es vol obtenir és inferior al 5% (valor recomanat a l'estàndard TETRA).

Llavors, sembla clar que amb les dues fórmules anteriors es pot obtenir N (nombre de canals), introduint com a dades el GoS (5%), el temps màxim de duració (5 segons), la duració mitja d'una trucada i el tràfic generat per un usuari 'tipus' (fórmula A4.1). Tot i que es fa un paralelisme entre canals i grups ja que a un sistema trunking només s'ocupa un canal quan hi ha una comunicació de grup (sense tenir en compte les trucades individuals, telefòniques o de dades, que a Bombers són mínimes comparades amb les de grup). A la Xarxa RESCAT quan un usuari inicia una trucada de grup només s'activa un canal de les TBS que tenen usuaris registrats amb aquell grup. En fer els càlculs, però, es suposarà el pitjor dels casos, comptant l'activació d'un canal de totes les TBS assignades al grup, tot i que no hi hagi cap usuari amb aquell grup seleccionat, fet que comportarà un tràfic major. D'aquesta manera

es tenen en compte els casos de terminals connectats a TBS més allunyades de la zona de foc (cas dels Mitjans Aeris, per exemple).

Així mateix també s'han de tenir en compte el recursos de Xarxa i el tràfic que es genera a cada TBS, que és la suma de les contribucions de cada grup (trucades actives). A més, per obtenir un resultat conservador en fer els càlculs es considera que amb cada trucada de grup s'activen totes les TBS de la zona del foc (normalment una comarca), tot i que només ho fan les que tenen usuaris amb el grup actiu seleccionat. Per tant, s'ha de conèixer el nombre de TBS que donen servei a cada zona (comarca) i el seu nombre de portadores. Tenint en compte que el criteri establert per assignar una TBS a un grup és que la doni a més d'un 5% del territori on es fa servir el grup (normalment una comarca) [7]. A la taula següent es mostren les dades del nombre de TBS de 1 i 2 portadores de la Xarxa RESCAT (sense tenir en compte la ciutat de Barcelona), que donen servei a cada comarca. A més també s'afegeix l'estadística del nombre de sinistres per comarques [6] i el nombre de parcs que hi ha (professionals i voluntaris) a cadascuna de les comarques.

Taula A4.1. Percentatge de sinistres per comarca i TBS d'1 i 2 portadores que donen servei a la comarca.

Comarca	Parcs Prof.	Parcs Vol.	% 2005	%2004	%2005	%2004	TBS ¹⁰	
			Total		Focs forestals		1	2
Alt Camp	1	2	1,03%	0,98%	2,19%	4,74%	4	7
Alt Empordà	4	4	4,74%	4,86%	3,53%	3,91%	4	7
Alt Penedès	1	1	1,87%	1,85%	3,75%	2,25%	7	10
Alt Urgell	1	5	1,74%	1,56%	1,74%	0,47%	6	0
Alta Ribagorça		1	0,29%	0,28%	0,31%	0,53%	5	0
Anoia	1	3	2,90%	2,55%	2,54%	1,84%	17	6
Bages	3	3	3,60%	3,46%	3,84%	2,07%	13	4
Baix Camp	3	1	3,23%	3,59%	5,53%	8,59%	6	7
Baix Ebre	2		1,63%	1,58%	2,68%	3,85%	8	3
Baix Empordà	5		4,49%	4,20%	4,02%	3,38%	4	8
Baix Llobregat	6	4	8,34%	8,47%	6,96%	5,81%	9	11
Baix Penedès	1	1	1,56%	1,54%	3,12%	3,32%	7	10
Barcelonès	2		5,86%	5,97%	1,29%	1,30%	9	10
Berguedà	2	2	1,30%	1,68%	1,03%	0,41%	11	7
Cerdanya		3	0,63%	0,66%	0,58%	0,95%	4	0
Conca de Barberà	1	2	0,71%	0,70%	2,37%	3,20%	5	17
Garraf	1	1	2,41%	2,39%	1,03%	1,42%	5	6
Garrigues		2	0,57%	0,61%	2,19%	1,30%	2	16
Garrotxa	1		0,75%	0,93%	0,76%	0,41%	5	7
Gironès	2		3,93%	3,99%	2,72%	2,49%	4	12
Maresme	2	3	5,61%	5,29%	3,79%	2,84%	6	15
Montsià	2		1,06%	1,39%	1,38%	3,61%	6	4
Noguera	1	3	1,31%	1,38%	1,92%	2,19%	18	5
Osona	3		2,41%	2,64%	2,01%	1,07%	9	5
Pallars Jussà	1	2	1,09%	1,10%	1,70%	1,42%	6	1
Pallars Sobirà	1	4	0,80%	0,72%	0,89%	1,48%	7	0

¹⁰ Número de portadores de la TBS: 1 ó 2.

Comarca	Parcs Prof.	Parcs Vol.	% 2005	%2004	%2005	%2004	TBS ¹⁰	
			Total		Focs forestals		1	2
Pla d'Urgell	1		0,73%	0,65%	0,49%	0,59%	17	2
Pla de l'Estany	1	1	0,61%	0,76%	0,22%	0,30%	4	6
Priorat	1	1	0,48%	0,54%	1,34%	1,84%	13	2
Ribera d'Ebre	2	2	0,79%	0,78%	1,61%	2,43%	7	1
Ripollès	1	2	1,00%	0,94%	0,67%	0,47%	13	13
Segarra	1	2	1,19%	1,10%	0,98%	1,60%	17	1
Segrià	1	3	3,57%	3,28%	3,79%	3,73%	14	3
Selva	5	3	4,48%	4,94%	4,69%	4,50%	2	14
Solsonès	1	2	0,72%	0,99%	0,98%	0,59%	21	5
Tarragonès	2	1	3,46%	3,69%	3,75%	7,46%	3	7
Terra Alta	1	2	0,51%	0,55%	1,92%	1,30%	7	2
Urgell	1	1	0,92%	0,98%	1,16%	0,77%	16	2
Vall d'Aran		3	1,23%	1,17%	0,31%	0,41%	3	0
Vallès Occidental	4	4	10,74%	10,14%	9,28%	6,22%	11	9
Vallès Oriental	3	4	5,70%	5,12%	4,95%	2,90%	10	15

A l'hora de fer els càlculs s'haurien de tenir en compte els recursos de les comarques amb un percentatge de sinistres més elevat (marcades en negreta). Concretament, en el cas dels focs forestals, s'ha de tenir en compte que molts es donen en llocs on l'orografia del terreny fa que, a la zona del incendi, només arribi senyal amb nivell suficient de 4 ó 5 TBS, o encara menys (per exemple al foc de Sant Llorenç Savall a la comarca del Vallès Occidental, només donaven cobertura a la zona dues TBS, una d'una portadora i una altra de dues portadores).

Per tant, tenint en compte la configuració actual de la Xarxa, el cas més restrictiu seria aquell a on totes les TBS que donin servei als terminals del foc fossin d'una sola portadora. Aquest fet és difícil que es doni, ja que com es pot veure al quadre anterior només les comarques dels Pirineus tenen totes les TBS d'una sola portadora, i en aquestes el risc d'incendi és mínim. A més, actualment totes les TBS que donen servei a zones amb elevat risc de foc s'han ampliat a dues portadores. Però com ja s'ha comentat al capítol 3, el sol fet que alguns usuaris estiguin connectats a una TBS d'una portadora ja és limitant. Per tant, es faran els càlculs suposant que totes les TBS siguin d'una portador i suposant que siguin de dos, tenint en compte que la probabilitat de la primera excepció és molt baixa. Així mateix, en fer el càlcul també s'haurà de sumar el tràfic generat per les trucades individuals, calculat al capítol 3.

D'altra banda, cal tenir en compte que en els moments inicials d'un gran sinistre no sempre es fa una sectorització ràpida que afavoreixi les comunicacions, assignant als usuaris un grup en funció de la seva tasca. A més, moltes vegades els bombers que hi actuen no passen els seus terminals a Mode Directe de forma immediata, fet que dificulta encara més la comunicació pels grups. Grups a on es creuen converses entre el control i els comandaments, entre els comandaments i els mitjans aeris que demanen informació del lloc a on fer una descàrrega d'aigua o fins i tot entre un camió i el bombers que està amb la mànega demandant aigua. No obstant això, als darrers anys aquesta

situació està canviant i a la majoria de sinistres es fa una sectorització més o menys ràpida, arribant a fer servir fins a 5 ó 6 grups. Però no als primers moments, tot i que el càlcul fet demostra que amb les taxes dels usuaris de les primeres hores, haurien de ser precisament 5 el nombre mínim de grups necessaris.

Per últim s'ha de fer una altra consideració respecte a la Xarxa RESCAT respecte a la gestió de la trucada de grup, que és de tipus mixt [3][4]. En aquest tipus de xarxes l'usuari (si hi ha recursos disponibles a la TBS a on està connectat) pot iniciar una trucada de grup i un cop deixa anar el PTT el sistema manté el canal ocupat per si algun usuari que tingui el grup seleccionat vol iniciar una nova transmissió. I tot i que el temps màxim d'una comunicació de grup d'un usuari és de 30 segons, una mateixa trucada de grup podria durar fins a 2 hores, ja que malgrat que passin els 30 segons, el sistema continua mantenint el canal ocupat uns segons després de cada comunicació per si un altre membre del grup hi vol intervenir, i si ho fa, la trucada de grup continua. De fet, només es podria interrompre una trucada de grup en cas que un usuari d'un altre grup fes una trucada d'emergència (prioritat preemptiva) en una TBS sense recursos a on estigués parlant un membre de la trucada de grup. Tot i que dependrà de la prioritat dels altres grups que ocupin canals de la TBS i, en cas de tenir tots la mateixa prioritat, dependrà del temps que la trucada de cada grup porti activa.

A4.1.2 Consideracions sobre càlcul del nombre màxim d'usuaris

El càlcul del nombre màxim d'usuaris s'ha fet a partir de les taxes dels “usuaris tipus” i del tràfic màxim que es pot cursar en una TBS d'una portadora o dues portadores, amb un GoS d'un 5% i un màxim temps d'espera de 5 segons. A la taula A4.2. es mostren els valors dels paràmetres necessaris per a fer el càlcul.

Taula A4.2. Paràmetres pel càlcul del màxim nombre d'usuaris.

Paràmetres	TBS 1 portadora	TBS 2 portadores
GoS	5%	5%
Canals	3	7
Màxima temps espera [seg.]	5	5
Mitja servei [seg.]	14,6	14,6
Màxim Tràfic [Erlang]	2,187	6,119

On el màxim tràfic s'ha calculat a partit de la fórmula A4.2 (càlcul del GoS), substituint els paràmetres de la taula A4.2 i augmentant la variable del tràfic de manera progressiva (de 0,001), fins que el GoS que s'obtingui sigui inferior o igual al 5%. Finalment, per calcular el màxim nombre d'usuaris de cada tipus es divideix la taxa màxima de tràfic obtinguda en cada cas (TBS 1 i 2 portadores) entre 5 (que són els tipus d'usuari) i, a continuació, es torna a dividir el valor obtingut entre la taxa de cada usuari. El resultat final és una aproximació

perquè no es tenen en compte les trucades d'emergència i que no tots els usuaris intervenen amb la mateixa proporció.

A4.1.3 Consideracions sobre càlcul del nombre mínim de grups

En primer lloc es recorda la taula de resultats mostrada al capítol 3, on es parteix de les dades dels usuaris tipus establerta a l'apartat 3.1.2.1.:

Taula A4.3. Càlcul nº grups necessaris amb el tràfic de l'hora carregada.

Tipus usuari	Operadors	Comandaments	Vehicles Operatius	Mitjans Aeris	Parcs	TOTAL
Nº usuaris	1	5	0	6	3	
Nº mig trucades / hora carregada	80	40	10	8	3	
Duració mitja d'una trucada [seg.]	18	12	8	20	15	14,6
Tràfic per usuari [Erlang]	0,40	0,13	0,02	0,04	0,01	-
Tràfic total [Erlang]	0,40	0,67	0,89	0,27	0,04	2,26
Màxima espera [seg.]	5	5	5	5	5	5
GoS amb 1 grup	33,86%	58,02%	82,93%	22,20%	2,72%	100% (347,87%)
Nº grups pel GoS ideal (5%)						5

El primer resultat parcial calculat ha estat el tràfic total, que s'obté a partir de la fórmula A4.1 (fila tràfic total). A continuació, fent servir la fórmula A4.2, es calcula el GoS resultant per cada tipus d'usuari (suposant que només es disposa d'un canal). Llavors es pot calcular el nombre de canals substituint a la fórmula A4.2 un nombre N canals (començant per 1 i augmentant unitàriament) i la resta de paràmetres fixos, que es poden veure a la taula A4.3: la duració mitja de les trucades (feta com a mitja de totes les mitges de les trucades dels usuaris), el tràfic total i el temps màxim d'espera. A continuació es mostra el càlcul fet per a N=5:

$$GoS(N, A) = \Pr(W > W_0) = C(N, A) \cdot \exp[-(N - A) \cdot W_0 / H]$$

$$GoS(5, 2.26) = \Pr(W > 5) = C(5, 2.26) \cdot \exp[-(5 - 2.26) \cdot 5 / 14.6] \leq 0,05$$

A4.2 Simulació amb software per a sistemes trunking [8]

A4.2.1 Consideracions prèvies

El software que hem fet servit per a fer simulacions planteja dos tipus de sistemes de gestió del tràfic: per transmissió i per missatge. En el primer el canal de tràfic és assignat a l'usuari mentre dura la conversa, mentre que en el segon el canal només s'assigna fins que s'acaba la transmissió. Dels dos, el que més s'aproxima al mode de funcionament de la Xarxa RESCAT és el de missatge.

En els sistemes de gestió per missatges, una trucada segueix el següent procediment, segons el manual del software [4], tot i que s'han de fer algunes puntualitzacions respecte al funcionament a la Xarxa RESCAT, que seran útils per tal d'adaptar les simulacions a la seva realitat:

“L'usuari que té el terminal sol·licita un intent de trucada prement l'interruptor PTT del seu terminal”. En el cas particular d'aquest projecte la majoria de comunicacions considerarem que són de grup.

“Mitjançant el canal de senyalització, el sistema indica en quin canal de tràfic es portarà a terme la comunicació en cas que existeixi algun canal lliure en aquest instant. En cas contrari, la trucada passa de forma automàtica a una cua d'espera, fins que el sistema disposa d'algun canal lliure. En el moment en què s'assigna un canal a la trucada, es considera que s'ha establert la comunicació i el canal no s'alliberarà fins que aquesta comunicació hagi acabat, ja sigui per voluntat del propi usuari o perquè s'ha superat el temps màxim permès de comunicació (si és que existeix)”. A la Xarxa RESCAT un cop acaba la comunicació d'un usuari (deixa anar el PTT) es reserven els recursos per la trucada de grup durant uns segons, per si un altre usuari vol parlar. Cada usuari té un temps màxim de torn de paraula i la trucada de grup es considera la suma de les comunicacions d'usuaris consecutives. Aquesta té un límit superior a una hora, tot i que si un usuari deixa anar PTT i passats uns segons ningú intervé més, llavors s'allibera el canal.

“Un cop tenim el canal assignat, la trucada espera la resposta d'una posició de despatx que pertanyi a la seva mateixa flota. Si en aquest moment no existeix cap operadora de flota disponible, la trucada espera que algun dels seus agents de flota finalitzi la comunicació que està atenent. Cal dir que durant aquest temps d'espera la trucada continua ocupant el canal”. Això no succeeix exactament igual a la Xarxa d'aquest projecte, ja que una trucada es cursa sense comprovar si hi ha algun usuari amb el grup seleccionat (els operadors són uns usuaris més). A més, al control hi ha suficients operadors com per atendre trucades de tots els grups de comunicacions actius. I si un usuari està parlant per un grup la resta de terminals del grup escolten la conversa i no poden interrompre'l (amb la excepció de les trucades d'emergència de les que es parlarà més endavant). Llavors es farà que el nombre d'operadores sigui suficient com perquè aquest no sigui el factor limitant.

“Un cop la comunicació ha acabat, tant el canal com la posició d’agent són alliberats. I si a la cua hi ha alguna trucada que espera assignació de canal, aquest s’assigna de nou a la primera trucada de la cua. La disciplina d’aquesta cua sol ser FIFO amb prioritat”. A la Xarxa RESCAT la cua també és FIFO amb prioritat.

Llavors, amb aquestes consideracions es podran fer simulacions, que com a resultat donen els següents paràmetres: tràfic ofert, tant per cent de trucades tallades per superar el temps màxim, probabilitat d’espera en cua, temps mig d’espera en cua, temps mig d’espera en cua de les trucades prioritàries, temps mig d’espera en cua de les trucades regulars, tràfic cursat i tant per cent de trucades demorades més de la seva duració mitja.

A4.2.2 Paràmetres de les simulacions

En iniciar el simulador i seleccionar el sistema de gestió per missatges, s’han d’omplir una sèrie de paràmetres que es poden veure a continuació:

➤ **Paràmetres generals:**

- **Trucades d’emergència:** a la Xarxa RESCAT les trucades d’emergència són gairebé inexistentes. Tot i així, s’indicarà que un 1% de les trucades disponibles seran d’emergència, ja que tots els terminals que es fan servir disposen d’aquesta possibilitat.
- **Trucades prioritàries:** aquest tipus de trucades tenen prioritat en la cua. Aquest paràmetre es considera que és d’un 10%, que coincideix aproximadament amb el % d’usuaris que disposen de prioritat superior a la resta (comandaments i operadors principalment).
- **Limitació durada de la comunicació:** es limita a 30 segons, que és el màxim temps que un usuari pot parlar. Tot i que realment l’ocupació de canal per una mateixa trucada de grup pot durar més (un parell d’hores), ja que tal i com es gestiona el tràfic a la Xarxa RESCAT, quan un usuari deixa anar PTT els recursos es mantenen uns segons per si un altre usuari del grup vol intervenir (gestió mixta). Però a la realitat un tant per cent molt elevat de les vegades les trucades de grup duren menys de 30 segons (més del 90%), i, per tant, aquesta aproximació pot ser vàlida.
- **Limitació del temps màxim sense transmetre:** aquest paràmetre es deshabilita, ja que la majoria de trucades són de grup i si es poden cursar els operadors les poden atendre, ja que els operadors estan a l’escolta dels tots els grups de treball de la zona.
- **Temps entre trucades:** aquest paràmetre es obligatori, i suposa que l’arribada de trucades segueix una distribució de Poisson, tot i que com es comenta en alguns estudis [11] realment en sistemes PAMR l’arribada és més a ràfegues. No obstant, el fet de suposar que és de Poisson implica un sobredimensionat dels paràmetres de qualitat del

tràfic. Llavors, el temps que es fixa és de 6 segons per a totes les simulacions, temps que s'ha establert fent una mitja de les dades obtingudes amb l'escola de comunicacions (fet per a obtenir les taxes d'usuari).

- **Nombre de canals del sistema:** paràmetre obligatori, i que per les simulacions que es fan en aquest projecte es farà l'analogia entre els canals disponibles i els grups de comunicacions (una comunicació de grup ocupa un canal cada vegada que s'activa).

A la següent figura es mostren els paràmetres generals, tot i que a cadascuna de les simulacions s'ha anat variant el nombre de canals.

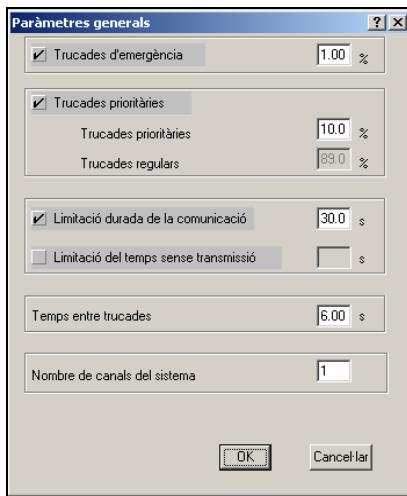


Fig. A4.1. Finestra paràmetres generals.

➤ **Paràmetres del servei:**

- **Estadística de servei:** permet escollir diferents estadístiques per tal de caracteritzar el tipus de servei. Les opcions són: exponencial, erlang-k, erlang-jk, lognormal, determinista i hiperexponencial de segon ordre. Segons un estudi empíric de sistemes PAMR [13] la millor opció és erlang-jk, ja que és la que més s'aproxima a la distribució real. A la següent figura (A4.2) es mostra l'histograma de les duracions de les comunicacions fetes a l'estudi [13] i sobreposades, cadascuna de les distribucions estadístiques. En aquesta es pot veure que l'estadística més propera a la distribució trobada és a erlang-jk, tot i que cal tenir en compte que els paràmetres de tràfic d'aquest estudi són diferents als d'aquest projecte.

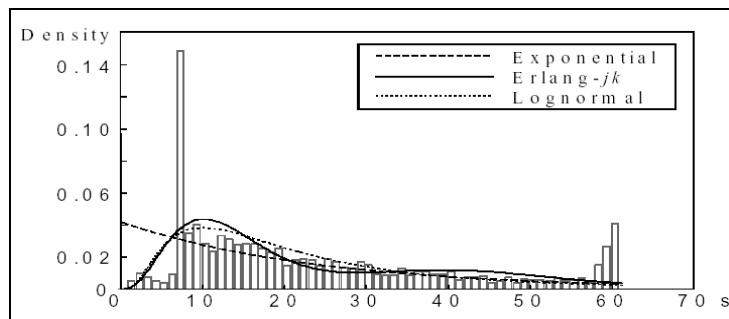


Fig. A4.2. Distribució en temps de les comunicacions fetes a [13].

- **Temps mitjà de servei:** representa la duració mitjana d'una trucada en el sistema. De fet, indica la mitjana de la distribució escollida. Per tant, al voltant d'aquest valor es farà uns distribució de trucades d'acord amb l'estadística triada.
- **Coeficient de variació al quadrat (cv^2):** valor necessari per caracteritzar les estadístiques de servei i per a que puguin ser implementades. En aquest projecte es fa servir el 0,510, ja que a l'estudi abans mencionat [13] és el valor que es prem amb la distribució erlang-jk.

A la següent figura (A4.3) es pot veure la configuració que s'ha fet servir a les simulacions:

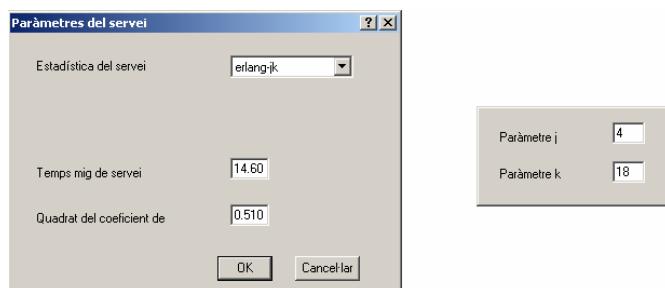


Fig. A4.3. Paràmetres de servei de les simulacions.

➤ **Paràmetres de flota:**

Aquí s'indiquen el nombre de grups, però per a cada grup (flota segons el simulador) s'ha d'especificar un tant per cent del tràfic que genera sobre el total, així com el nombre d'operadors. Segons el model del simulador, cada usuari d'una flota pot generar una trucada, però a més d'haver un canal disponible a una TBS també hi ha d'haver una operadora. Aquest model no s'ajusta al funcionament de les comunicacions de grup de la Xarxa d'aquest projecte, on només un usuari pot parlar per un grup (la resta estan a l'escuta o polsant PTT i en cua d'espera per parlar).

Per tant, en les simulacions que es realitzen en aquest projecte es suposa que el nombre d'operadors és de un per grup.

Un exemple d'aquesta pantalla es pot veure a la següent figura, tot i que per a algunes simulacions els paràmetres seran diferents:

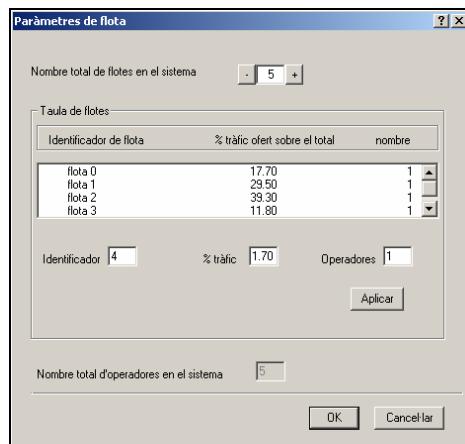


Fig. A4.4. Paràmetres de flota.

➤ Paràmetres de sortida:

Dels paràmetres de sortida que hi ha, per a cada simulació es guarden en un fitxer els següents: tràfic ofert, tant per cent de trucades tallades per superar el temps màxim, probabilitat d'espera en cua, temps mig d'espera en cua(s), temps mig d'espera en cua de les trucades prioritàries (s), temps mig d'espera en cua de les trucades regulars, tant per cent trucades interrompudes degut a les trucades d'emergència, tràfic cursat i tant per cent de trucades demorades més que la duració mitja d'una trucada (14,6 segons en aquest cas).

A4.2.3 Resultats de les simulacions

Un cop introduïdes totes les dades, es pot executar el simulador. Però tenint en compte el mode de funcionament del simulador i els paràmetres d'entrada i sortida, sembla clar que per aquest projecte només serà útil per tal de veure el nombre de grups (canals) idoni per tal d'absorir el tràfic generat per una configuració donada. (Cal recordar el paral·lelisme introduït entre grup i canal).

Llavors, tenint en compte el tràfic generat pels usuaris establerts a l'apartat 3.1.2.1 es farà la simulació amb els valors d'entrada ja definits. Únicament es variaran el nombre de flotes i el % de tràfic que generen sobre el 100% total, a més del nombre de grups(canals) dels que es disposa per tal de comprovar com es comporta el sistema en cada cas.

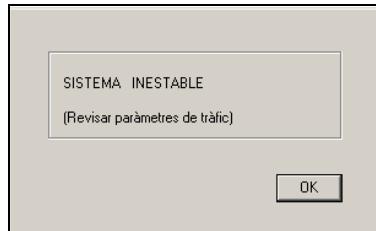
A les primeres simulacions s'han fixat els 5 “tipus d'usuari” com a 5 flotes, calculant el % de tràfic sobre el total a partir de les taxes obtingudes al capítol 3. Aquestes dades es resumeixen a la taula A4.4.

Taula A4.4. Dades dels usuaris per la simulació.

Tipus terminal	Nombre d'usuaris	Comunicacions/Hora	Duració	% tràfic
Operadors control	1	80	18	17,70%
Vehicles de Bombers operatius	40	10	8	39,34%
Vehicles de Comandaments	5	40	12	29,50%
Terminals portàtils	50	-	-	
Mitjans Aeris	6	8	20	11,80%
Parcs implicats	3	3	15	1,66%

Llavors, un cop introduït el % del tràfic que genera cada “flota” s’executa la simulació incrementant el nombre de canals. Els resultats obtinguts es resumeixen a continuació:

- Amb 1 i 2 canals no es poden obtenir resultats, ja que el simulador ens indica que el sistema és inestable (veure figura següent). Llavors sembla clar que s’ha de fer servir més de 2 grups, amb la configuració d’usuaris i grups donada al capítol 3.

**Fig. A4.5.** Resultat en simular configuració “original” amb 1 i 2 canals.

- Per a 3 o més grups (canals) el resultat obtingut es mostra a la taula següent:

Taula A4.5. Paràmetres de sortida per configuracions de 3 fins a 6 grups.

Paràmetres	Grups (canals)			
	3	4	5	6
Nombre grups del sistema				
Tràfic Ofert [Erlangs]	2,433	2,433	2,433	2,433
Duració màxima permesa d'un missatge (s)	30	30	30	30
% de trucades tallades per superar el temps màxim	7,66	7,6	7,64	7,61
Probabilitat d'espera en cua	0,62	0,27	0,11	0,04
Temps mig d'espera en cua (s)	10,965	1,888	0,467	0,135
% de trucades prioritàries	10	10	10	10
Temps mig d'espera en cua de les trucades prioritàries (s):	2,905	0,932	0,275	0,088
Temps mig d'espera en cua de les trucades regulars (s):	11,983	2,015	0,494	0,141
Tràfic cursat [Erlangs]	2,374	2,376	2,380	2,392
% de trucades demorades mes de 14.60 s.	28	3,7	0,41	0,06

Així mateix, també comparem el fet de tenir amb aquest nombre d'usuaris 3 ó 7 canals (TBS d'una o dues portadores):

Taula A4.6. Paràmetres de sortida per a 3 i 7 canals.

Paràmetres	Canals	
Nombr canals del sistema	3	7
Tràfic Ofert [Erlangs]	2,433	2,433
Duració màxima permesa d'un missatge (s)	30	30
% de trucades tallades per superar el temps màxim	7,64	7,56
Probabilitat d'espera en cua	0,63	0,01
Temps mig d'espera en cua(s):	10,732	0,033
% de trucades prioritàries	10	10
Temps mig d'espera en cua de les trucades prioritàries (s):	2,9	0,024
Temps mig d'espera en cua de les trucades regulars (s):	11,742	0,034
Tràfic cursat [Erlangs]	2,384	2,373
% de trucades demorades mes de 14.60 s.	28,05	0

Llavors, amb aquestes simulacions es pot comprovar que és a partir de 5 grups quan la probabilitat de d'espera en cua és acceptable (11%), tot i que amb 6 grups s'aconsegueix una probabilitat inferior al 5% demanat (4%). Però s'ha de tenir en compte que el “mode de funcionament” que es planteja al software de simulació no és exactament igual al real. Tot i que es pot considerar una bona aproximació, ja que té en compte aspectes com la distribució estadística de la duració de les trucades, entre d'altres. A més, es veu clarament com influeix el fet d'estar connectat a una TBS d'una o dues portadores, ja que per exemple la probabilitat d'espera en cua passa d'un 63% a un 1%.

Per acabar amb les simulacions, s'han fet simulacions amb la configuració òptima de nombre d'usuaris per grup, calculada al capítol 3 suposant que a la zona del foc hi ha una TBS d'una portadora. A la taula A4.7. es pot veure un resum de la configuració, on s'inclou el percentatge de tràfic sobre el total que genera cadascun dels grups (per introduir-lo al simulador):

Taula A4.7. Configuració de nombre màxim d'usuaris per grup.

Tipus de Grup	Nº usuaris Operadors	Nº usuaris Comandam.	Nº usuaris Vehicles Operatius	Nº usuaris M. Aeris	Nº usuaris Parc	Truc. indiv.	Tràfic total	% tràfic
Zona de foc	1	1	11	3	2	0	0,62	28,2
Zona de foc	1	1	11	3	1	0	0,60	27,6
Coordinació	1	2	0	0	0	2	0,23	10,7
Trànsit	1	0	11	0	0	2	0,34	15,7
Graf	1	1	7	0	0	2	0,39	17,8
TOTAL	5	5	40	6	3	6	2,19	100

Un cop introduïdes les dades al simulador, s'obtenen els següents resultats per a un nombre diferent de canals:

Taula A4.8. Resultats del simulador per la configuració del màxim nombre d'usuaris per grup.

Paràmetres	Canals				
	3	4	5	6	7
Nombre grups del sistema	3	4	5	6	7
Tràfic Ofert [Erlangs]	2,433	2,433	2,433	2,433	2,433
Duració màxima permesa d'un missatge (s)	30	30	30	30	30
% de trucades tallades per superar el temps màxim	7,60	7,64	7,56	7,64	7,63
Probabilitat d'espera en cua	0,62	0,27	0,11	0,04	0,01
Temps mig d'espera en cua (s)	10,588	1,891	0,501	0,127	0,034
% de trucades prioritàries	10	10	10	10	10
Temps mig d'espera en cua de les trucades prioritàries (s):	2,887	0,932	0,286	0,091	0,024
Temps mig d'espera en cua de les trucades regulars (s):	11,567	2,020	0,531	0,132	0,036
Tràfic cursat [Erlangs]	2,372	2,372	2,389	2,388	2,381
% de trucades demorades mes de 14.60 s.	27,48	3,68	0,49	0,05	0,0

Com a primer resultat, cal dir que sembla que amb aquesta configuració, quan es disposen només de 3 canals (1 portadora) no s'obtenen els paràmetres de qualitat definits anteriorment, i sí a partir de 4. Però cal tenir en compte que la simulació no s'ajusta als paràmetres i al funcionament exacte de la Xarxa RESCAT, i, per tant, s'ha de prendre com una aproximació.

Tot i que com a conclusió, sí que es pot afirmar que si totes les TBS de la xarxa fossin com a mínim de 2 portadores (7 canals), es podrien aconseguir millors paràmetres de qualitat. Per tant, es recomanable que totes les TBS de les zones d'especial risc i activitat siguin de 2 portadores, acció que s'està duent a terme actualment (amb la despesa que suposa, tant econòmica com de freqüències de TBS, que són limitades).

ANNEX 5. Enllaços via satèl·lit

En aquest annex es mostren les diferents opcions que existeixen al mercat per tal d'obtenir una connexió IP a través d'Internet. En primer lloc cal dir que la majoria de satèl·lits comercials són geostacionaris, tot i que també hi ha d'òrbita baixa. La diferència bàsica entre ells són que mentre que amb un geostacionari l'antena sempre apuntarà al mateix punt en un d'òrbita baixa el temps de visió de cadascun dels satèl·lits de la constel·lació és reduït, i això pot implicar pèrdua de senyal. Tot i que el retard que s'introdueix en un enllaç amb un satèl·lit geostacionari és major (125 ms) que en un d'òrbita baixa (<10ms). En canvi, la tecnologia dels satèl·lits geostacionaris està més desenvolupada i, per tant, la varietat de serveis que s'ofereixen a través d'ells és major.

Així, doncs, centrant-nos en els satèl·lits geostacionaris ens trobem diferents proveïdors:

- INMARSAT (International MARitime SATellite Organization) (www.inmarsat.com).
- INTELSAT (INternational TELEcommunications SATellite Consortium) (www.intelsat.com).
- EUTELSAT (EUropean TELEcommunications SATellite Organization) (www.eutelsat.com).
- HISPASAT (www.hispasat.com).

A més, alguns d'ells, com per exemple Hispasat donen un servei majorista, amb volums de tràfic garantitzats, a Operadors que s'encarreguen de dissenyar la capacitat assignada als seus productes, i de comercialitzar-los a l'usuari final per comptes d'accés, encarregant-se de tota la gestió amb l'usuari, instal·lació, manteniment, facturació, etc. Tot i que també es pot contractar la capacitat del segment espacial directament.

Per l'enviament de dades que es faria al CCA (connexió IP), hi ha dues solucions possibles: fer servir una xarxa VSAT o bé establir un enllaç punt a punt entre el CCA i el centre de control. Totes dues solucions es poden implementar sobre múltiples Operadors que donen servei a través de diferents flotes de satèl·lits geostacionaris. A continuació es detallen les característiques de cadascuna de les dues possibilitats.

A5.1 Xarxes VSAT [19]

Els sistemes VSAT són xarxes de comunicació per satèl·lit que permeten establir enllaços entre un gran nombre d'estacions remotes amb antenes de petit tamany (VSAT: Very Small Aperture Terminals), amb una estació central normalment anomenada Hub.

Basant-se en aquesta tecnologia VSAT s'ofereixen a l'actualitat una gran quantitat de serveis corporatius que permeten la connexió d'una gran diversitat de terminals remots que inclouen capacitats transmissores. Aquestes xarxes són coordinades per un terminal denominat *Hub* que permet a la resta de terminals remots establir els seus canals de comunicació i realitzar un control general de la xarxa. A més, aquest tipus de sistemes estan orientats principalment a la transferència de dades entre unitats remotes i Centres de Procés (en el nostre cas seria el centre de control) connectats al *Hub*. Per tant, el camí de la comunicació seria: Terminal VSAT del CCA – Satèl·lit – Hub – Xarxa Terrestre (línia dedicada, per exemple) – Centre de Control.

A5.1.1 Avantatges de les Xarxes VSAT

Les peculiars característiques del medi de transmissió satèl·lit, conjuntament amb la seva tipologia i disseny, proporcionen a les xarxes VSAT uns avantatges específics enfront altres sistemes de transmissió, entre els que cal destacar els següents:

- Facilitat i rapidesa per a la posada en operació i la incorporació de nous terminals.
- Cost dels circuits independent a la distància.
- Accés a llocs on no està disponible una altra infraestructura terrestre, bé per raons físiques o econòmiques.
- Flexibilitat per a la reconfiguració del tràfic, sigui creixement, disminució o reassignació.
- Ús molt eficient de la capacitat espacial.
- Alta qualitat i disponibilitat dels enllaços.
- Gestió centralitzada i dependència d'un únic Operador de Serveis.
- Cost de terminals en clara disminució.

A5.1.2 Classificació de les Xarxes VSAT

Els sistemes VSAT es poden constituir a través de diferents tipus de xarxes i topologies, que es poden classificar-se en:

➤ Sistemes Unidireccionals de Dades

Aquests sistemes es basen fonamentalment en l'ús d'una estació transmissora principal, per la qual són enviades al satèl·lit les senyals, que són posteriorment rebudes per un gran nombre d'estacions receptors, típicament de menor mida.

Els principis que apliquen al desenvolupament d'aquests sistemes són que la informació és unidireccional i originada a una o unes poques fonts i que és distribuïda a una gran quantitat d'usuaris.

L'estació transmissora envia la senyal sobre una o diverses portadores a velocitats que estan compreses normalment entre 19.2 Kbps i 2 Mbps.

Les estacions receptores són molt senzilles i econòmiques, i de mida reduïda (un diàmetre entorn a 75-90 cm). El canal de retorn (transmissió del client) es fa mitjançant la xarxa terrestre.

➤ Sistemes Bidireccionals

L'arquitectura d'aquestes xarxes és similar a les unidireccionals. L'estació central (Hub) transmet per una o diverses portadores al col·lectiu d'estacions remotes associades. L'estructura de la informació que conté cada portadora és un Múltiplex per Divisió en el Temps, amb múltiples canals, cadascun dels quals pot ser assignat per a la seva recepció per una o diverses estacions remotes. L'estructura del Múltiplex es pot ajustar a la demanda del tràfic, però, en qualsevol cas, es reserva certa capacitat pels canals de control i assignació del sistema.

El nombre de portadores de l'estació central a les remotes sol ser petit i la seva velocitat de transmissió és corresponentment major. Velocitats de 64 Kbps a 2048 Kbps són normals, per tant, els requisits de transmissió exigibles a l'estació central són majors. La informació es codifica amb un codi de protecció d'errors sense canal de retorn. La recepció en les remotes és contínua, fet que provoca que el cost del desmodulador sigui moderat.

A la direcció de transmissió d'estacions remotes a estació central se sol adoptar una solució d'Accés Múltiple per Divisió en el Temps (TDMA) per cada portadora. Algunes VSAT poden disposar d'un tràfic sostingut corresponent, per exemple, a la transferència de fitxers, i en aquest cas resulta convenient assignar-li una proporció fixa de la capacitat de la portadora. Això significa que aquesta estació, i només aquesta, accedeix a la portadora durant certs intervals de temps, predeterminats respecte a la referència de la trama. Naturalment, el nombre d'intervals assignats a cada estació en mode fix dependrà de la demanda exigida per cada Terminal. Altres terminals generen dades de forma discontinua i aleatòria, característiques dels processos interactius. Per aquest tipus de tràfic, i per a les sol·licituds d'inici de transacció dels casos anteriors, és més adequat permetre l'accés aleatori amb probabilitats controlades de col·lisió de les demandes de transmissió. A més a més, en certes xarxes és possible utilitzar canals preassignats de capacitat fixa per oferir serveis de veu o de vídeo.

➤ Xarxes Corporatives

Els sistemes VSAT Interactius limiten normalment les comunicacions directes de cadascuna de les estacions remotes amb la Central. Aquest aspecte pot ser un inconvenient per a certs serveis i, en aquests casos, és precís utilitzar més eficaçment el segment espacial. Quan es tracta d'unir diversos nodes jeràrquicament iguals i proporcionar serveis digitals avançats, similars als oferts per la xarxa digital de serveis integrats (RDSI), es sol acudir a sistemes més potents que permeten la comunicació directa de tots amb tots, amb una estructura de xarxa mallada.

Aquests sistemes operen a cada estació transmissora amb accés TDMA i amb velocitats que van des de 2 Mbps a 34 Mbps, oferint, per tant, un cert nombre

de circuits de 64 Kbps (de 30 a 500) al conjunt de les rutes que la xarxa corporativa exigeix. Aquest conjunt de circuits és assignat dinàmicament a cada estació, en funció de les trucades actives a cada node en un moment determinat. L'ús del segment espacial és més eficient que el de circuits terrestres ja que el dimensionament del tràfic s'efectua sobre el conjunt total de circuits, aspecte que resulta notablement més eficient que realitzar-ho sobre cadascun d'ells.

A5.1.3 Proveïdors de servei enllaços VSAT

Hi ha molts proveïdors de servei que ofereixen aquest servei de connexió a Internet per satèl·lit. Aquests disposen d'un segment espacial que distribueixen entre els clients VSAT, que accedeixen per TDMA.

Tot i que el nivell de compartició en molts casos és inferior al dels serveis de ADSL, també s'ofereixen serveis dedicats. Que també són útils quan es necessita un enllaç simètric, ja que la majoria que s'ofereixen no ho són. A mode d'exemple, a continuació es mostren els diferents preus d'un mateix servei amb l'enllaç compartit o dedicat:

- Connexió 128 / 128 Kbps dedicat: 4.650 € /mes.
- Connexió 256 / 128 Kbps compartits: 379 € /mes. [26]

A més cal dir que el cost del equipament és reduït, ja que bàsicament només cal:

- una antena parabòlica (amb un LNB), que té un cost d'uns 600€, que variarà en funció del seu diàmetre i de si es munta fixa o amb un sistema d'apuntament automàtic, que té un cost d'uns 10.000 €.
- Un mòdem per a connexions via satèl·lit, que té un cost aproximat de 1500 €.

A5.2 Enllaços punt a punt

És una altra de les típiques topologies de xarxa que es duen a terme utilitzant un sistema de satèl·lits, l'atractiu fonamental de la qual és comunicar dos punts remots amb independència del lloc en què es trobin dins de la zona de cobertura del satèl·lit.

En aquest cas s'estableix un enllaç fix via satèl·lit entre dos punts qualsevol, sense haver de passar per un *Hub*, establint una comunicació bidireccional per la transmissió d'imatge, dades i/o veu. Mitjançant estudis de tràfic, i en funció de la qualitat del servei desitjat, es pot establir quin és el nombre òptim de portadores digitals i la seva velocitat per l'enllaç. Ja que en aquest cas es faria servir una portadora i no pas una fracció.

En el cas del CCA, si és volgués establir un enllaç d'aquest tipus s'hauria d'instal·lar el mateix equipament tant al vehicle com al centre de control on es volgués connectar el CCA, amb la "baixa" flexibilitat que això suposaria.

A5.2.1 Avantatges i aplicacions dels enllaços punt a punt

Les principals avantatges dels enllaços punt a punt són:

- Independència de l'existència de xarxes terrestres.
- Portadores de velocitat programable.
- Circuits transparents.
- Alta fiabilitat dels enllaços.
- Cost independent de la distància.

Són típics els enllaços per a transaccions temporals de gran volum d'informació, distribució de gràfics i imatges, intercanvi de programes de TV i provisió de circuits digitals de qualsevol tipus.

Aquesta mena d'enllaços es poden contractar en règim de permanència o bé temporal. Tot i que amb el temporal no es pot assegurar una disponibilitat del 100%, que sí que es pot en cas de fer-ho en règim permanent, tot i que contractar aquesta opció implica fer un elevat desembors econòmic.

A5.1.4 Proveïdors de servei

Per a establir enllaços d'aquest tipus es pot contractar directament el segment espacial a l'empresa que explota la xarxa de satèl·lits, p. ex. HISPASAT. Però llavors es complica la instal·lació tant a nivell d'equipament, perquè no basta amb un simple mòdem, sinó que s'han de fer servir receptors / transmissors, que tenen un cost molt més elevat que el d'un mòdem via satèl·lit. A més, la complexitat de la seva posada en marxa és major que amb un mòdem VSAT, que només cal configurar una sola vegada. S'ofereixen dues formes de contractació:

- De forma permanent: assegura la seva disponibilitat i es paga tant si es fa servir el segment com si no. El seu cost a HISPASAT és de 5500 € / mes / MHz.
- De forma ocasional: no s'assegura la disponibilitat en el moment que es vulgui contractar i només es paga pel temps que s'hagi està connectat. A HISPASAT, si es fa servir un enllaç de 2 MHz de forma ocasional es pagaria 1,8 € per minut de connexió.

ANNEX 6. Equipament de veu i dades: models comercials de proves i de la proposta d'instal·lació

En aquest annex es presenten les característiques de l'equipament que s'ha fet servir a les proves d'enllaços de dades del capítol 4, i els presentats a la proposta d'instal·lació de veu i dades feta al capítol 5.

A6.1 Equips proves de dades

En aquests apartats es mostren les principals característiques dels elements que s'han fet servir a les proves d'enllaços de dades. Tot i que dels “cubs” de la xarxa MESH només disposen de la fotografia, que es mostra a continuació:



Fig.A6.1. “Cub” de la xarxa MESH amb la que s'han fet proves.

A6.1.1 UMTS

Per a fer les proves s'ha connectat una targeta PCMCIA dual 3G/GPRS, model *Novatel Wireless Merlin U530/U630* [27].



Fig. A6.2. PCMCIA dual 3G/GPRS.

Algunes de les característiques més importants són:

- Ofereix una velocitat de transmissió de dades de fins a 384 Kbps.
- Suporta la connexió d'una antena externa, per millorar el rendiment en llocs on la senyal sigui més dèbil.
- Les bandes en les que pot funcionar són:

- UMTS 2100 MHz
- GPRS/GSM 900 MHz
- GPRS/GSM 1800 MHz
- GPRS/GSM 1900 MHz

- Compatible amb connexions VPN.
- Facilitat d'ús i d'instal·lació, ja que es tracta d'una PCMCIA.

A6.1.2 VSAT: BGAN

Aquest equipament fa servir els satèl·lits de Immarsat i ofereix les següents prestacions bàsiques [21]:

- Dades IP (transmissió recepció) a 492 Kbps.
- Transmissió de veu per ISDN (4 Kbps).
- Transmissió de dades per ISDN (64 Kbps).
- Permet utilitzar totes les interfícies simultàniament (Ethernet, USB, ISDN i WLAN).
- Punt de accés WLAN.
- Capacitat per a múltiples usuaris (fins a 11 sessions simultànies).
- Qualitat de servei seleccionable (32K, 64K, 128K ó 256K).

Tot i que a les proves realitzades s'ha comprovat que les velocitats són teòriques i no pas pràctiques. A la següent figura es mostra una imatge del equipament, que ja incorpora l'antena i el suport, i que a les proves es va connectar mitjançant un cable de xarxa al PC.



Fig.A6.3. Equip que es va fer servir per a les proves d'un enllaç satèl·lit.

A6.2 Equips de la proposta d'instal·lació

A6.2.1 Terminals TETRA

Els terminals TETRA que s'instal·laran són el del fabricant Sepura [28], concretament el model SRG3500, que permetrà fer servir el terminal com a DMO Gateway (si fos necessari). La CPU s'instal·larà al rack d'equips de veu i

dades i es connectarà al equip integrador de comunicacions (Zetron). El capçal es pot posar com a “backup”, per així poder fer servir els terminal en cas que fallés la matriu integradora d'àudio, ja que al capçal es poden connectar directament un microaltaveu.



Fig.A6.4. Vista del capçal i de la CPU del terminal SRG3500.

Les seves principals característiques, a més de les definides al estàndard TETRA (fer trucada de grup, mode de funcionament TMO/DMO, etc.) són:

- Potència RF de 10W (personalitzable en TMO o DMO).
- Trucades de veu i emergència de DMO a TMO i viceversa.
- Admet dos capçals de control i dos ports de dades PEI.
- Sis tecles de funció remotes mitjançant interfícies de dos cables.
- Opcions d'encriptació E2E; integrada anti-manipulació o per targeta intel·ligent.
- Fins a 12 línies de E/S disponibles: totes poden activar o ser activades per missatges d'estat.
- Dos ports de dades físiques que permeten el funcionament simultani de dues aplicacions de dades.
- Interfície de tecla de funció remota.

A6.2.2 Terminals VHF (banda aeronàutica i marina)

Com a terminal mòbil de la banda aeronàutica s'ha triat el model *ac110* del fabricant *Icom* [29].

Les seves principals característiques són:

- Rang de freqüències : 118.000 -136.975 MHz.
- 20 canals.
- Potència transmissió de 36W.
- Funció canal prioritari.
- Doble canalització:25 KHz / 8.33 KHz.



Fig.A6.5. Terminal de banda aeronàutica.

Com a terminal mòbil VHF de banda marina s'ha triat el model *m421* del fabricant *Icom* [30].

Les seves principals característiques són:

- Transmissió des de 156.025 fins a 157.425 MHz.
- Recepció des de 156.300 fins a 162.025 MHz.
- Canals segons el pla de bandes marítim.
- Potència de transmissió de 25 W.
- Compacte i estanc segons normativa JIS nivell 7 (1 metre de profunditat durant 30 min).



Fig.A6.6. Terminal de banda marina.

A6.2.3 Terminals GSM/GPRS

Per a establir els enllaços GSM/GPRS es fa servir un equip del fabricant Xacom [31]. Les seves característiques principals són:

- Bandes de funcionament: GSM 900, DCS 1800 y PCS 1900 .
- RF potència 2W (1W, 1W)
- Interfícies de connexió:
 - o RJ11 connector línia telefònica.
 - o Connector USB.
 - o Connector DB9, RS232 i SMA.
 - o Connector per a antenes GSM externes.

- Targeta SIM per connectar.
- Cable d' alimentació 12 Vdc i opcional cable extern d'alimentador 220 Vac.

A6.2.4 Integrador d'àudio: DCS 5020 de Zetron [14]

El DCS 5020 integra radio i telefonia, gestió de trucades, funcions de control i de registre en una sola interfície d'operador. El sistema suporta fins a 28 ports assignables a línies telefòniques o ràdio i fins a 6 posicions d'operador, interconnectades. Aquestes posicions consten de: un PC amb monitor, una Unitat de Interfície d'Àudio (AIU) i accessoris d'àudio (auriculars, micròfon, PTT extern, etc.).

Al CCA es muntaran 3 matrius DCS 5020. Cada matriu té 4 punts de connexió que es poden assignar a terminals TETRA o a terminals telefònics (també suporta terminals GSM). A més cada matriu està composta per targetes que determinen el tipus de interfície per la xarxa de ràdio o telefonia del client. Hi ha targetes disponibles per les següent aplicacions:

- Extensions de PABX, línies d'usuari analògiques.
- Connexió directa de telèfon o circuit de timbre.
- Radio convencional de canal fix.
- Radio TETRA.
- Interfície per a gravadora de veu.
- Multiplexor i altres xarxes de transmissió.

A6.2.5 Sistema VSAT

Per l'enllaç satèl·lit s'ha triat un enllaç VSAT de 128 Kbps, simètric i dedicat del proveïdor SATCONXION [26]. Per la seva implementació s'ha d'instal·lar un mòdem satèl·lit i una antena automàtica, que es mostren a continuació.

Com a mòdem/router es fa servir el que ens proporciona el proveïdor del enllaç satèl·lit [26].



Fig.A6.7. Modem/router del proveïdor del servei satèl·lit [26].

Algunes de les seves principals característiques són:

Com a router:

- Processador de control integrat RISC.

- Configuració i comunicacions via Telnet.
- Sistema de Gestió de Xarxa integrat.
- Actualitzacions via TFTP o Vload.
- 16 MBytes de memòria de sistema.
- Interfície Ethernet 10BT.
- Xarxes IP LAN-to-LAN o LAN-to-WAN.
- Firewall Integrat.
- Priorització de paquets de veu.
- Control dinàmic de potència.

Com a mòdem:

- Freqüència de transmissió i recepció DDS (Direct Digital Synthesis) ajustable en passos de 1 Hz.
- Baix consum i factor reduït a 1U (unitats de rack).
- Selecció del ample de banda de transmissió i recepció des de 1.2 Kbps fins a 4.92Mbps en passos de 1bps (DDS).

La antena automàtica seleccionada tindrà un diàmetre de 1,2m, per així tenir un millor marge de l'enllaç. El model triat és del fabricant *Inetvu* [32].



Fig.A6.8. Antena satèl·lit automàtica [32].

Les seves característiques bàsiques són:

- Dimensions (incloent el suport de l'antena):
 - o Alçada:
 - Plegada: 53 cm
 - Desplegament màxim: 206 cm
 - o Amplada: 124 cm.
 - o Llargada: 199 cm.
- Pes: 80 Kg.
- Rang de freqüències: RX (de 11,7 a 12,2 GHz) i TX (de 14 a 14,5 GHz).
- Guany: RX 42 dBi i TX 43,5 dBi.

A6.2.6 Sistema alimentació

Per a l'alimentació s'ha triat un generador que compleix amb la normativa d'aïllament acústic i que proporciona la potència necessària per l'equipament que s'instal·larà al CCA (aprox. 9 KVA). El model és el *P9000* del fabricant *Pramac* [33].

Les seves principals característiques són:

- Compleix amb directiva europea 2000/14.
- Potència subministrada: fins a 9 KVA.
- Ofereix 3 tomes de corrent de 230V de 16A.
- Inclou protecció amb magnetotèrmics.
- Combustible: gasoil.
- Consum (al 75%): 2,1 l/h.
- Autonomia (al 75%): 11,7 h.
- Sistema d'arrencada: elèctric.
- Dimensions:
 - o Alçada: 80 cm
 - o Amplada: 55cm
 - o Llargada: 93 cm
- Pes: 190 Kg.
- Inclou kit de transport (per portar al interior del CCA) i control remot.



Fig.A6.9. Generador model *P9000* del fabricant *Pramac*.

A6.2.7 Rack d'equips

Per instal·lar l'equipament de veu i dades s'ha triat un rack de 22U del fabricant GBO [34].



Fig.A6.10. Gama de racks del fabricant GBO.

Les seves principals característiques són:

- Alçada 22U.
- Amplada de 600 mm i 800 mm de fons.
- És totalment desmuntable.
- Portes d'acer.
- L'entrada de cables es pot fer pel sostre i per la part posterior.
- Compleix amb normatives: ISO/IEC 11801 (per sistemes de cablejat), ETSI 300-119-2 (característiques mecàniques), DIN 41494 part 1 i 7 (mesures de rack de 19"), EN60950 i VDE 0100 (protecció elèctrica).
- Ofereix múltiples accessoris per poder acomodar fàcilment instal·lacions tan heterogènies com la proposada pel CCA.