

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Estudio, planificación e implantación
de emisoras TETRA en Quart de Poblet,
utilizando la red COMDES de la
Generalitat Valenciana, con la
integración de servicios municipales”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
DIEGO MEDINA PÉREZ

Tutor/a:
MARÍA CONSUELO PART ESCRIVÀ

GANDIA, 2019

RESUMEN:

Se entiende por comunicaciones críticas aquellas que se producen en situaciones de emergencia. Este tipo de comunicaciones requieren de unas características como robustez y seguridad que sólo la tecnología TETRA ofrece. Por ello la red COMDES, que es la red de Red de Comunicaciones Móviles Digitales de Emergencia y Seguridad de la Generalitat Valenciana, está basada en la tecnología TETRA.

Este proyecto tiene como objetivo la modernización del sistema de comunicaciones del Ayuntamiento de Quart de Poblet, especialmente de la Policía Local, mediante su integración en la red COMDES.

Para conseguirlo se elaborará un proyecto de despliegue de red según los parámetros de diseño establecidos por la red COMDES, mediante la ubicación de una estación base en el municipio. Posteriormente se realizará un estudio de cobertura utilizando el programa Xirio online, concretando los equipos necesarios y realizando una estimación del coste de implantación de la red.

Por último veremos hacia dónde se encamina este tipo de redes en el futuro.

ABSTRACT:

Communications made during an emergency situation are called critical communications. This type of communications requires characteristics such as robustness and security that only TETRA technology offers. Therefore, the COMDES network, which is the Network of Digital Mobile Emergency Communications and Security of the Generalitat Valenciana, is based on TETRA technology.

This project aims to modernize the communications system of Quart de Poblet, especially the Local Police, through its integration into the COMDES network.

To achieve this, a network deployment project will be developed according to the design parameters established by the COMDES network, through the location of a base station in the municipality. Subsequently, a coverage study will be carried out using the online Xirio program, specifying the necessary equipment and making an estimate of the cost of implementing the network.

Finally we will see where this type of networks is heading in the future.

PALABRAS CLAVE:

- TETRA
- COMDES
- Estación base
- Cobertura

KEYWORDS:

- TETRA
- COMDES
- Base station
- Coverage

ÍNDICE DE CONTENIDOS:

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	3
2 SISTEMA TETRA	4
2.1. INTRODUCCIÓN.....	4
2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES	5
2.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO.....	6
2.4. TIPOS DE LLAMADAS.....	6
2.5. INTERFACES.....	6
2.5.1.INTERFAZ AIRE.....	7
2.5.1.1 BANDA DE FRECUENCIAS.....	7
2.5.1.2 MODULACIÓN.....	8
2.5.1.3 ACCESO.....	8
2.5.1.4 TRAMA TETRA.....	9
2.5.1.5 TIPOS DE CANALES.....	10
2.6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	10
3 RED COMDES	11
3.1. ORGANIZACIÓN	11
3.1.1 OPERADOR DE RED.....	12
3.1.2 USUARIO.....	12
3.1.3 PROVEEDORES EXTERNOS.....	12
3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	12
3.2.1 ESPECIFICACIONES GENERALES	13
3.2.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.....	14
4 PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE RED	16
4.1. OBJETIVO	16
4.2. RED DE COBERTURA.....	16
4.2.1 REQUISITOS GENERALES.....	16
4.2.2 PLANIFICACIÓN TÉCNICA.....	17
4.2.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE RADIOCANALES	17
4.2.2.2 LOCALIZACIÓN DE LA EB.....	19
4.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA EB.....	20
4.2.2.4 EQUIPACIÓN DE LA EB.....	20
4.2.2.5 ESTUDIO Y CÁLCULO DE COBERTURA.....	22
4.2.2.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....	25
4.3. RED DE TRANSPORTE.....	29
4.3.1 SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO DE CONEXIÓN.....	29
4.3.2 SIMULACIÓN DEL ENLACE	31
4.4. TERMINALES	36
4.4.1.TERMINALES FIJOS.....	37
4.4.2.TERMINALES MÓVILES	37
4.4.3.TERMINALES PORTÁTILES	38
4.5. FORMACIÓN.....	39
4.6. PRESUPUESTO.....	40
5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO	41

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1. Funcionamiento sistema Trunking 4.....	4
Figura 2. Funcionamiento red TETRA.....	7
Figura 3. Constelación $\pi/4$ – DQPSK.....	8
Figura 4. Eficiencia espectral de sistemas PMR convencionales y TETRA.....	9
Figura 5. Tipos de tramas en sistema TETRA.....	9
Figura 6. Organización sistema COMDES.....	11
Figura 7. Tabla Erlang C en la que se relaciona el número de canales (N) con el tráfico según el GoS requerido (B).....	19
Figura 8. Creación de un nuevo estudio de cobertura en Xirio.....	23
Figura 9. Ubicación del transmisor en Xirio.....	23
Figura 10. Configuración del transmisor en Xirio.....	24
Figura 11. Datos de recepción para terminales móviles, izquierda, y terminales portátiles, derecha.....	25
Figura 12. Rangos de señal y color.....	26
Figura 13. Cobertura para terminal móvil simulada en Xirio.....	27
Figura 14. Cobertura para terminal portátil simulada en Xirio.....	27
Figura 15. Cobertura para terminal portátil en casco urbano.....	28
Figura 16. Distancia entre las ubicaciones del EB, izquierda, y el CPP Valencia, derecha.....	30
Figura 17. Ubicaciones EB y centro de control COMDES en Radiomobile. ...	31
Figura 18. Datos del enlace en Radiomobile.....	32
Figura 19. Resultado simulación del enlace con Radiomobile.....	33
Figura 20. Perfil enlace con antena de EB a 25 metros de altura.....	33
Figura 21. Perfil enlace con antena de EB a 35 metros de altura.....	33
Figura 22. Resultado simulación del enlace con antena de EB a 35 metros... ..	34
Figura 23. Resultados simulación del enlace con 95% de fiabilidad.....	34
Figura 24. Datos de simulación de enlace en web Airlink.....	35
Figura 25. Resultados de la simulación en web Airlink.....	36

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Rango de frecuencias y su uso según.....	8
Tabla 2. Valores de tráfico calculados, en Erlangs.....	18
Tabla 3. Resumen de los parámetros de Tx y Rx para simulación en Xirio.....	26
Tabla 4. Intensidad de señal en zonas más alejadas.....	28
Tabla 5. Intensidad de señal en zonas más importantes.....	29
Tabla 6. Ubicaciones de los centros de control red COMDES.....	30
Tabla 7. Resumen de los resultados obtenidos en la simulación del enlace.....	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1. Instalación real de EB en un Ayuntamiento.....	22
Ilustración 2. Instalación real de terminal fijo en Central de Policía Local.....	37
Ilustración 3. Instalación real de terminal móvil en vehículo patrulla.....	38

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los servicios de seguridad y emergencias necesitan de sistemas de comunicaciones seguros debido a la delicadeza de la información tratada, así como de sistemas que tengan una baja probabilidad de saturación o caída, debido a la necesidad inmediata de comunicación que pudiera existir.

La tecnología TETRA da respuesta a ambas necesidades, además de aportar otras muchas características que colaboran en una mejor comunicación y organización de los servicios de emergencias. Esta tecnología permite no depender de la red pública de telefonía, la cual puede verse colapsada en casos de, por ejemplo, atentados terroristas, evitando los problemas de saturación de líneas de telefonía móvil que se producen inevitablemente por parte de la población al llamar a amigos o familiares. En estos casos extremos, al igual que en el caso de catástrofes naturales, donde la infraestructura puede sufrir daños, se hace patente la necesidad de tener un sistema de comunicación independiente del resto de redes.

Por estos motivos, diversos cuerpos policiales utilizan sistemas de comunicaciones basados en TETRA como, por ejemplo, la Policía Nacional y la Guardia Civil, que utilizan el sistema de comunicación SIRDEE, acrónimo de Sistema de Radiocomunicaciones Digital de Emergencia del Estado; la Ertzaintza, que utiliza el sistema Enbor-Sarea; o la Policía Foral de Navarra, que utiliza el servicio de RTTD, acrónimo de Red de Radiotelefonía Trunking Digital.

A semejanza del resto de Comunidades Autónomas, la Generalitat Valenciana comenzó a desplegar la red COMDES en el año 2008, la cual cuenta en la actualidad con más de 174 estaciones base a lo largo de toda la Comunidad Valenciana. La Red COMDES opera bajo el estándar TETRA, que por ser un estándar abierto permite acceder a un mercado diverso de terminales, favoreciendo así la implantación en las diferentes Administraciones Públicas a bajo coste.

El objetivo de este proyecto es la adhesión a la red COMDES del Cuerpo de Policía Local y Protección Civil del municipio de Quart de Poblet, Valencia.

Para ello se realizará un proyecto técnico en el que se recogerán todos los equipos necesarios para asegurar una cobertura y una calidad del servicio óptima.

La modernización del sistema de comunicaciones de la policía de Quart de Poblet incidirá de forma directa en el ciudadano, ya que el empleo de los terminales TETRA permitirá, entre otras mejoras:

- Conocer la ubicación de cada uno de los agentes en servicio, con el fin de poder enviar a la patrulla más cercana, atendiendo las necesidades vecinales de forma más rápida y eficiente.
- Creación de canales de comunicación compartida entre diversos servicios de emergencias como bomberos, protección civil o sanitarios, lo que facilitará la coordinación del operativo policial en caso de rescates de personas perdidas, accidentes graves...

2 SISTEMA TETRA

2.1. INTRODUCCIÓN

En la década de los 50 se produjo la popularización de los sistemas de comunicaciones PMR (Professional Mobile Radio o Private Mobile Radio). Se trataban de redes de comunicaciones privadas, destinadas a un grupo cerrado de usuarios, que no se conectaban a las redes públicas.

Los PMR son sistemas de radiocomunicaciones en los que los usuarios pueden comunicarse entre sí directamente o mediante el uso de estaciones base, empleando dos frecuencias: una frecuencia de subida, que era utilizada por el usuario para enviar el mensaje, y otra frecuencia de bajada, utilizada por la estación base. Los usuarios ocupaban los canales o frecuencias, mientras mantenían pulsado el PTT (Push to Talk).

Pero el creciente número de usuarios conllevó el necesario aumento de la capacidad de los sistemas PMR, lo que se consiguió durante la década de los 80 primero mediante la implementación de la técnica de acceso TDMA (*Time Division Multiple Access*). Esta técnica de acceso consistía en la asignación a cada usuario de un TS, del inglés time slot, determinado para transmitir, permitiendo así el acceso de varios usuarios a un mismo sistema. Aun así este tipo de comunicaciones tenía un número limitado de usuarios debido su poca eficiencia radioeléctrica. Así es como aparecieron las redes troncales las cuales utilizaban el sistema trunking.

A diferencia de los sistemas convencionales en los que la estación base asignaba una frecuencia o canal a cada usuario, en los sistemas de comunicaciones troncales todos los usuarios de la red comparten los recursos del sistema, es decir, todos los canales están disponibles para todos los usuarios en todo momento y es la unidad central de control la que asigna dinámicamente los recursos bajo demanda de los usuarios. Tal y como podemos observar en la Figura 1, los sistemas trunking o troncales son mucho más eficientes que los sistemas convencionales, en cuanto al uso del espectro se refiere, permitiendo un número más elevado de usuarios en el mismo espectro.

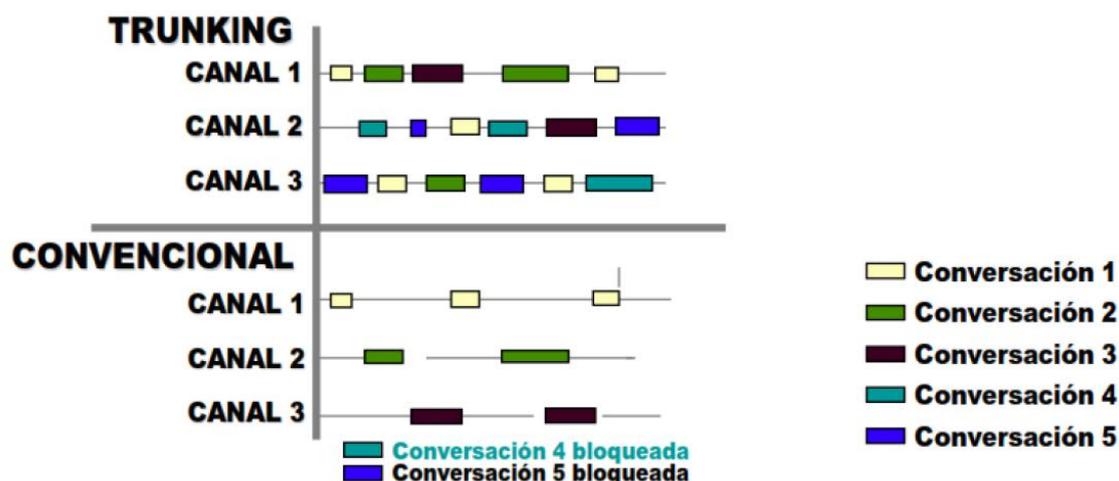


Figura 1. Funcionamiento sistema trunking

Este auge de los sistemas de comunicaciones PMR conllevó la existencia de diferentes tipos de tecnologías y de fabricantes, lo que suponía un problema de interoperabilidad entre ellos. Esto motivó que la ETSI (European Telecommunications Standards Institute), procediera a la estandarización de este tipo de comunicaciones en Europa mediante el estándar TETRA (TErrestrial Trunked Radio), en 1995.

El estándar TETRA fue definido por el ETSI como un estándar abierto, fomentando la competencia de los distintos fabricantes de equipos TETRA permitiendo al usuario tener un abanico más amplio de posibilidades.

2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Las principales características del estándar TETRA son:

- **SEGURIDAD:** TETRA ofrece unos niveles de protección muy altos mediante el encriptado de las comunicaciones de voz y datos, protegiendo las comunicaciones contra lecturas no permitidas y contra modificaciones no autorizadas de la información transmitida. También requiere autenticación de los terminales para asegurar que únicamente acceden a la red terminales habilitados previamente, permitiendo la expulsión de terminales intrusos.
- **ROBUSTEZ:** al tener una infraestructura separada del resto de redes, protege al sistema de posibles saturaciones. También tenemos que tener en cuenta que el propio sistema asegura una capacidad superior al doble de posibles usuarios. Además, TETRA permite trabajar en modo terminal a terminal, sin necesidad de hacer uso de la infraestructura, muy útil en caso de fallo de las comunicaciones.

Otras características del sistema son:

- Utilización de una banda de frecuencias por debajo de 1Ghz supone una menor necesidad de equipos repetidores que el resto de sistemas de comunicaciones.
- Permite comunicaciones dúplex de voz y datos. Además, al tratarse de un sistema digital, permite la implementación de sistemas de compresión de voz y datos con una tasa de errores de bit pequeña, lo que se refleja en una buena calidad de llamadas de voz y una alta velocidad de transmisión de datos.
- Permite la realización de comunicaciones individuales, comunicaciones a grupos o comunicaciones de difusión o emergencia. Incluso permite el empleo de distintos niveles de prioridad para garantizar los recursos a ciertos usuarios o tipos de llamada.
- Dispone de terminales específicos para cada necesidad: portátiles (equiparables a teléfonos móviles), móviles (destinados a vehículos) y terminales para bases.
- Posee control de potencia de transmisión de los terminales en función de la distancia con la Estación Base, alargando la duración de las baterías. Este control de potencia permite además evitar interferencias co-canal e interferencias en el canal.

2.3. MODOS DE FUNCIONAMIENTO

Las especificaciones de los estándares TETRA realizados por el ETSI cubren tres servicios de telecomunicación o modos de funcionamiento:

- V+D, del inglés Voice plus Data (ETS 300 392), es el modo de funcionamiento más utilizado ya que permite la comunicación simultánea de voz y datos. Se basa en el interfaz aire que veremos a continuación.
- PDO, del inglés Packet Data Optimized (ETS 300 393), está orientado únicamente a la transmisión de datos. Permite alcanzar velocidades más altas de transmisión que el modo V+D.
- DMO, del inglés Direct Mode Operation (ETS 300 396), permite la comunicación directa entre un grupo de terminales que se encuentren dentro de su zona de cobertura, sin necesidad de red. También permite utilizar un terminal en modo Gateway, haciendo de repetidor y permitiendo el acceso a la red de otros terminales aunque estos no se encuentren en el radio de cobertura de la Estación Base.

2.4. TIPOS DE LLAMADAS

El sistema TETRA permite hacer los siguientes tipos de llamada entre usuarios de la red:

- Llamadas individuales: llamada de punto a punto realizada entre dos usuarios
- Llamada de grupo: llamada de punto a multipunto; la llamada es recibida por todos los usuarios con acceso a ese grupo.
- Llamada de emergencia: este tipo de llamada tiene prioridad sobre el resto de llamadas existentes. En el caso de que el sistema no disponga de canales libres en ese momento, el sistema finalizará una de las comunicaciones dando curso a la llamada de emergencia.

2.5. INTERFACES

Como hemos dicho anteriormente, el ETSI define el estándar TETRA para asegurar la interoperabilidad de los diferentes sistemas. Para ello, define, entre otros, los siguientes interfaces:

- Interfaz aire que asegura la interoperabilidad de terminales de distintos fabricantes
- Interfaz de Equipos Periféricos (PEI) que se emplea para conectar equipos terminales con dispositivos como computadoras
- Interfaz entre sistemas (ISI) que asegura la interconexión de redes Tetra de distintos fabricantes

- Otros: interfaz Man-Machine (MMI) o usuario terminal, pasarelas a redes externas (PABX, PSTN), etc.

En la Figura 2 tenemos un ejemplo de una red TETRA y los distintos modos de interfaces presentes.

Typical TETRA Network

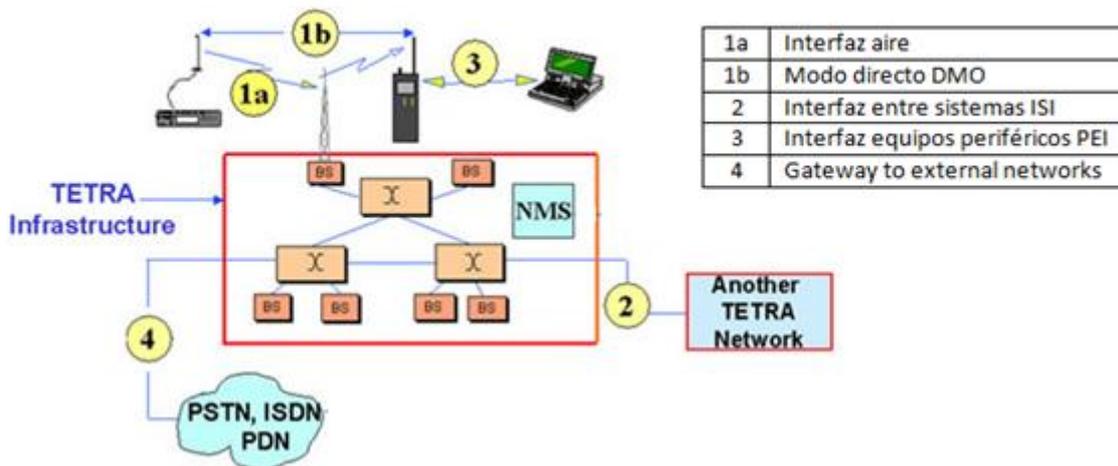


Figura 2. Funcionamiento red TETRA. Fuente TETRA ARCHITECTURE AND INTERFACES de Dr. Nouri

2.5.1. INTERFAZ AIRE.

Es el interfaz más importante en el estándar TETRA ya que es donde se realiza la comunicación entre el terminal móvil y la Estación Base. Las características técnicas del estándar aire son:

2.5.1.1. BANDA DE FRECUENCIAS

El estándar TETRA fue diseñado para operar en las bandas por debajo de 1 GHz, con una separación entre la banda superior y la banda inferior de 10 MHz y empleando canales de 25 KHz para ser compatible con las redes PMR existentes. TETRA en su Release 2 permite anchos de banda de 50 KHz, 100 KHz y 150 KHz.

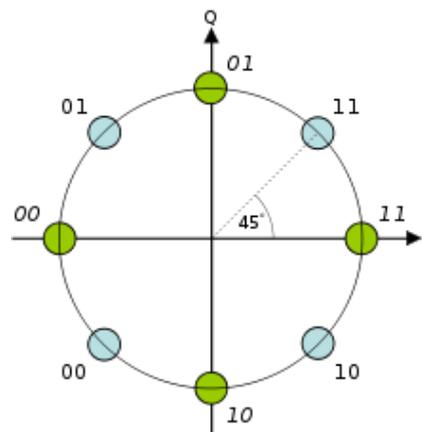
En España, el Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias establecido por la Orden ETU/1033/2017, de 25 de octubre, define que el estándar TETRA empleará las frecuencias en función de su uso lo que viene recogido en la tabla 1:

RANGO DE FRECUENCIAS	USO
380-390MHz / 390-400MHz	redes TETRA destinadas a Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y redes de emergencia
410-420MHz / 420-430 MHz	redes TETRA destinadas fines comerciales
450-460MHz / 460-470MHz	

Tabla 1. Rango de frecuencias y su uso según

2.5.1.2. MODULACIÓN

La modulación usada por TETRA es $\pi/4$ – DQPSK, del inglés Differential Quadrature Phase Shift Keying, que es una modulación de fase diferencial con 4 símbolos posibles separados una distancia de $\pi/4$ o 45° . Podemos ver su constelación en la Figura 3.

Figura 3. Constelación $\pi/4$ – DQPSK. Fuente Wikipedia

TETRA, desde su Release 2, también permite modulación de amplitud en cuadratura en sus versiones de 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM.

2.5.1.3. ACCESO

Como hemos visto anteriormente, TETRA utiliza la técnica de multiplexación TDMA donde cada ráfaga de información a transmitir se transmite sobre un TS. La utilización de esta técnica de acceso hace que sea uno de los sistemas de comunicación más eficientes espectralmente, tal y como se puede observar en la Figura 4.

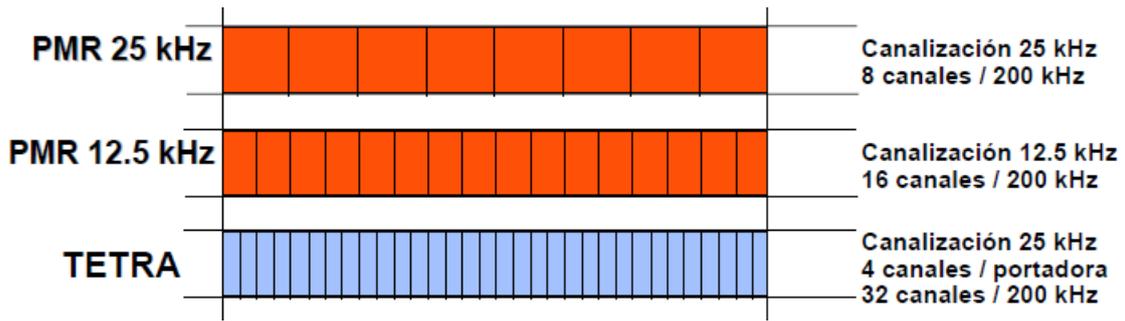


Figura 4. Eficiencia espectral de sistemas PMR convencionales y TETRA. Fuente INTRODUCCIÓN A LAS REDES DE COMUNICACIÓN TRUNKING DIGITAL DE LA UC

El período durante el cual se repiten transmisiones de ráfagas desde varias fuentes de información se denomina trama.

2.5.1.4. TRAMA TETRA

La trama TDMA de TETRA utiliza 4 TS por portadora de 25kHz de ancho de banda. Cada TS puede ser usado por un usuario diferente así que por cada portadora tendremos 4 conversaciones a la vez. Cada uno de los cuatro slots que conforma una trama TETRA consta de 255 símbolos (510 bits) y su duración es de 14,167ms. Cuando se agrupan 18 tramas se forma una multitrama de 1,02 segundos de duración, utilizándose la última trama como trama de control para enviar señalización de control. Además, TETRA en el modo V+D (Voz + Datos) agrupa 60 multitramas en una hipertrama de 61,2 segundos de duración. Todo esto lo podemos apreciar claramente en la Figura 5

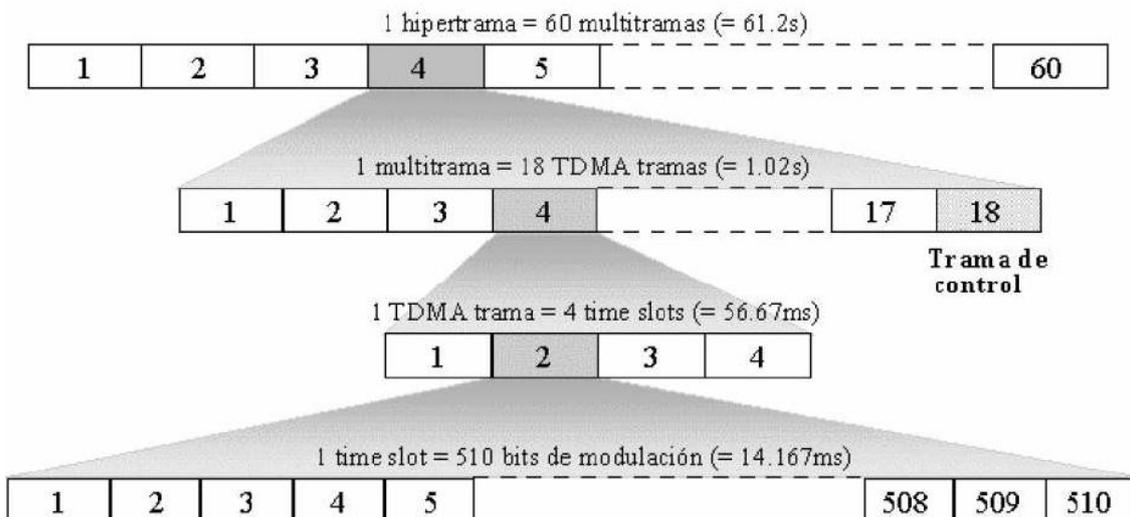


Figura 5. Tipos de tramas en sistema TETRA. Fuente INFORME UIT-R M.2014

2.5.1.5. TIPOS DE CANALES

Existen dos tipos de canales: físicos y lógicos. Un canal físico corresponde a un TS de la trama y puede transportar diferentes canales lógicos

Hay 3 tipos de canales físicos:

- Control Physical Channel o CP: es un canal físico de control utilizado para señalización.
- Traffic Physical Channel o TP: es un canal físico de tráfico para tráfico de voz y datos
- Unallocated Physical Channel (UP): es un canal físico que queda libre.

Los canales lógicos se pueden dividir en dos grupos:

- Canales de Control (CCH): transportan mensajes de señalización
- Canales de Tráfico (TCH): transportan voz y datos en modo circuito.

2.6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Algunas de las características técnicas más importantes del sistema TETRA son:

- ✓ Separación de frecuencias de subida y bajada de 10 MHz
- ✓ Acceso al canal por ALOHA ranurado
- ✓ Rechazo de canal adyacente > 60 dBc
- ✓ Tasa de datos por portadora 36 Kbits/s
- ✓ Tasa de codificación de voz ACELP 4.56Kb/s neto → 7.2 Kb/s bruto
- ✓ Tasa de datos por usuario 7,2 Kb/s por slot
- ✓ Tasa máxima 28,8 Kb/s
- ✓ Tasa protegida de datos: más de 19.2 Kb/s
- ✓ Encriptación según algoritmo TEA2
- ✓ Potencia de estaciones base: de 0.6 a 40 W
- ✓ Potencia de equipos móviles: 1, 3 y 10 W

3 RED COMDES

La red COMDES, acrónimo de Red de Comunicaciones Móviles Digitales de Emergencia y Seguridad, de la Comunitat Valenciana es la red de comunicaciones que ofrece la Generalitat a los diversos cuerpos u organismos dedicados a las emergencias, seguridad, prevención y rescate. La red COMDES constituye el sistema de comunicaciones normalizado para la atención de emergencias y urgencias que prevé una gestión eficaz y coordinada de las actuaciones que se realizan cuando suceden eventos que generan situaciones críticas.

La red permite el funcionamiento independiente de cada organización de atención de urgencias, emergencias y seguridad y, en caso de requerirse, se pueden establecer canales de comunicación que facilitan la interoperabilidad entre todos los organismos que pudieran participar en la resolución de una emergencia.

3.1. ORGANIZACIÓN

El modelo de organización de la red COMDES está basado en los siguientes roles:

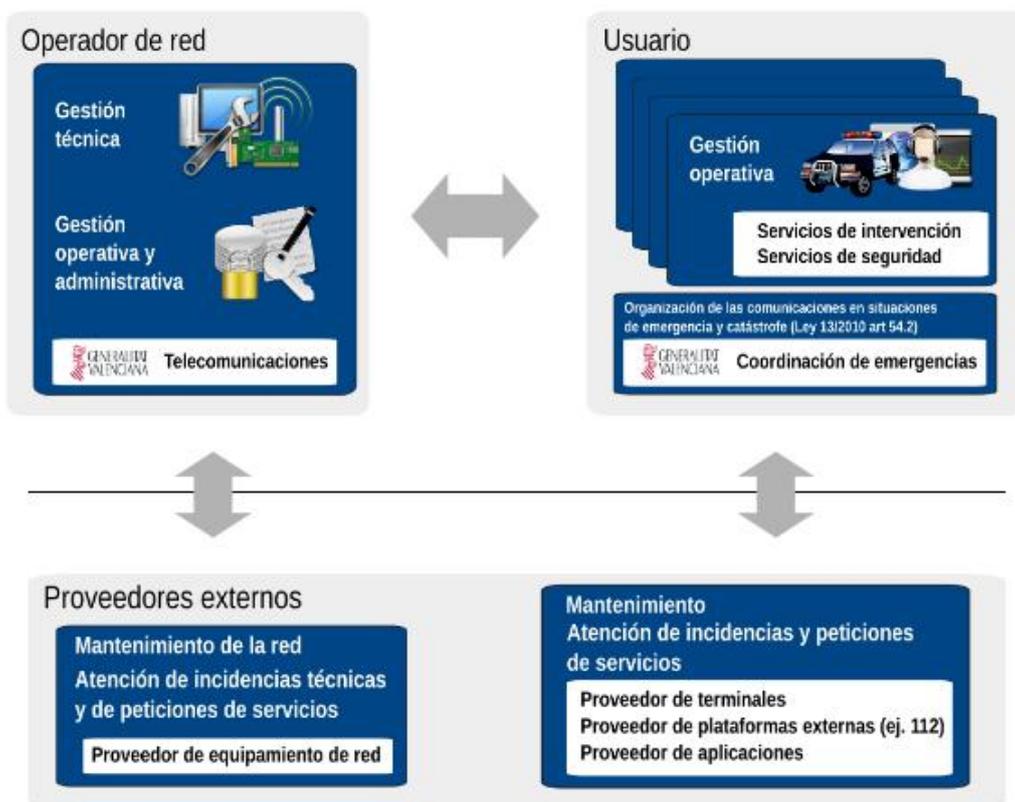


Figura 6. Organización sistema COMDES. Fuente COMDES/gva

3.1.1 OPERADOR DE RED

El operador de red es la Dirección General de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Generalitat Valenciana, a través del Servicio de Telecomunicaciones y Sociedad Digital y sus funciones son:

- **Gestión técnica:** planifica, gestiona y supervisa la red para ofrecer un servicio de comunicaciones móviles digitales de calidad a todas las flotas de emergencias y seguridad. También se encarga de la supervisión del control de la calidad de los proveedores externos.
- **Gestión operativa y administrativa:** es responsable de la tramitación administrativa para la adhesión de organizaciones y flotas a la red

3.1.2 USUARIO

Todo aquel agente que utiliza la red COMDES como sistema de comunicación y coordinación en el ejercicio de sus funciones de prevención, rescate, emergencias y seguridad en la Comunitat Valenciana. Entre otros, podemos encontrar los Servicios de atención sanitaria a urgencias y emergencias de la Generalitat, Servicios de prevención y extinción de incendios y salvamento autonómicos, provinciales y locales, Unidad del Cuerpo Nacional de Policía adscrita a la Comunitat Valenciana y Cuerpos de Policía Local y Protección Civil de más de 173 municipios de la Comunitat.

Cabe destacar como usuario al Centro de Coordinación de Emergencias de la Comunitat Valenciana por ser el órgano competente para la elaboración de los protocolos de uso de la red y la organización de las comunicaciones en situaciones de emergencia y catástrofe.

3.1.3 PROVEEDORES EXTERNOS

Son las empresas que se encargan del mantenimiento de la propia red y sus equipos. Pueden ser contratados por el propio Operador de Red para el mantenimiento de la propia red COMDES (proveedor de red) o por cada usuario para el mantenimiento de sus propios terminales (proveedor de terminales).

3.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La Red COMDES cuenta con un sistema de comunicaciones móviles troncalizado (Trunking), que opera bajo el estándar TETRA, que por ser un estándar abierto permite acceder a un mercado diverso de terminales, accesorios y aplicaciones mediante cualquier terminal autorizado, compatible con el estándar TETRA para comunicaciones de voz (fijo, portátil y móvil) y datos (módem para datos de sensorización, telemetría, etc.) entre dispositivos. Para evitar posibles incompatibilidades, la red COMDES especifica como requisitos técnicos de sus equipos los siguientes.

3.2.1 ESPECIFICACIONES GENERALES

- Banda de frecuencias. La banda requerida para el funcionamiento de la Red COMDES es la utilizada para sistemas de aplicaciones y operativas de seguridad y emergencia, por lo que, según la norma UN-28 del CNAF, el sistema funciona en la banda de 380 a 400 MHz.
- Interoperabilidad y compatibilidad. La opera con una infraestructura de red de la marca EADS, en su release 6.0. En consecuencia, los terminales deben cumplir con el estándar TETRA y deben haber pasado los test de interoperabilidad con la citada infraestructura.
- Seguridad. La Red COMDES soporta encriptación TEA2 en la interfaz aire, así como la autenticación de los terminales en el sistema.

En consideración a las características operativas del sistema, todos los equipos del sistema, tanto de infraestructura (estaciones base o repetidoras – EB) como terminales o equipos de usuarios, deben cumplir con las siguientes características, especificadas en las Normas técnicas de ETSI y TETRA referenciadas en:

1. Interfaz aire y parámetros radio

- Parámetros radio. ETSI EN 300 394-1 v2.3.1
- Interfaz aire V+D. ETSI EN 300 392-1 v1.3.1
- Interfaz aire DMO. ETSI ETS 300 396-3 ed1

2. Servicio de voz y servicio de datos TETRA

- Voz TETRA. ETSI ETS 300 395
- Identificación de llamada. ETSI EN 300 392-10/11/12-1
- Late Entry. ETSI EN 300 392-10/11/12-14
- Asignación dinámica de grupos. ETSI EN 300 392-10/11/12-22
- Interfaz PEI. ETSI EN 300 392-5 v1.2.1 i ETSI TS 100 392-5 v1.2.1
- Seguridad. ETSI EN 300 392-7 v2.1.1

3. Certificados de inter-operabilidad

Los terminales deben ser compatibles con la infraestructura de red TETRA de EADS en su versión 6.0

4. Sensibilidad estática mínima:

- 112 dBm. ETSI ETS 300-1 ed1.

5. Sensibilidad dinámica mínima:

- 103 dBm. ETSI ETS 300-1 ed1.

Adicionalmente, cualquier equipo que se incluya en la red debe cumplir las normas técnicas exigidas por la ley:

1. Compatibilidad electromagnética:
 - EN 300 827 / ETS 300 279.
2. Temperatura de funcionamiento y almacenaje:
 - IEC 68 / M3L-STD 810 (C, D y E)
3. Resistencia a vibraciones, caídas y golpes:
 - IEC 68 / MIL-STD 810 (C, D y E)
4. Resistencia a la salinidad:
 - IEC 68 / MIL-STD 810 (C, D y E)

3.2.2 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Los objetivos de la Red COMDES se enumeran a continuación:

➤ **Objetivos de cobertura:**

- No inferior al 85% del territorio de la Comunitat, con una calidad mínima del 95% del tiempo y de las ubicaciones a nivel de calle y para terminal portátil.
- No inferior al 95% del territorio de la Comunitat, con una calidad mínima del 95% del tiempo y de las ubicaciones para terminal móvil.

➤ **Tiempo de establecimiento y grado de servicio:**

La Red COMDES funciona como sistema de espera sin pérdidas. En estos sistemas la llamada originada queda en una cola a la espera de que el sistema tenga la suficiente capacidad para atenderla.

El tiempo de establecimiento de las comunicaciones de voz con el sistema no congestionado será inferior a 500 milisegundos para todas las llamadas, incluida la de emergencia, en un 95% de los casos. Este parámetro es de obligatorio cumplimiento para todos los sistemas que cumplen con el estándar TETRA.

Los criterios de diseño para toda la zona de cobertura deberán asegurar un Grado de Servicio (GoS) inferior o igual al 3% para un tiempo de espera en cola inferior o igual a 10 segundos.

➤ **Tráfico y capacidad de red:**

El estudio de tráfico y capacidad de cada una de las zonas de cobertura de la Red COMDES se realizará en función de los siguientes requisitos:

- a) Para el 95% de los terminales:
 - Llamadas de voz: 6 llamadas de 10 seg. por hora cargada (H.C.)
 - Datos cortos: 10 llamadas de 100 bytes/H.C.
 - Datos largos: 1 llamada de 10 kbytes/H.C.

b) Para el 5% de los terminales

- Llamadas de voz: 4 llamadas de 90 seg./H.C.
- Datos cortos: 10 llamadas de 100 bytes/H.C.
- Datos largos: 1 llamada de 10 kbytes/H.C.

A los solos efectos del cálculo del tráfico, para datos se considerará como velocidad mínima la de 2,4 Kbps.

Respecto al número de radiocanales, se deberán cumplir en todo caso:

- Un mínimo de 1 radiocanal por cada estación en emplazamiento básico.
- Un mínimo de 2 radiocanales por cada estación en emplazamiento medio y especial.
- Un mínimo de 4 radiocanales por cada estación en emplazamiento estratégico.

4 PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE RED

4.1. OBJETIVO

El objeto de este proyecto es dotar a la Policía Local del ayuntamiento de Quart de Poblet de un sistema digital de comunicaciones móviles que permita una mayor calidad y seguridad de las comunicaciones, mediante su integración en la red COMDES.

En este proyecto se especifican los terminales y estaciones base (EB) seleccionados para garantizar una cobertura óptima en todo el municipio de Quart de Poblet junto al estudio de cobertura realizado. Las fichas técnicas de los terminales son aportadas en anexos. También se aporta la formación necesaria a impartir a los usuarios para un correcto funcionamiento de los terminales y de la red. Todo ello será presupuestado en el apartado final.

Como veremos, todos los elementos de la red están lo suficientemente dimensionados para atender las necesidades de los usuarios del servicio de Policía Local definidos en este proyecto, pero siendo capaces de ser ampliados para cubrir las necesidades futuras.

4.2. RED DE COBERTURA

4.2.1 REQUISITOS GENERALES

La finalidad de la red de radiocomunicaciones del servicio de Policía Local es cubrir las necesidades de radiocomunicaciones móviles del Ayuntamiento de Quart de Poblet, especialmente el servicio de Policía Local, por lo que la configuración de flotas y grupos atenderá a las necesidades de la operativa policial.

La red se dimensionará para la actual plantilla operativa de la Policía Local de Quart de Poblet, siendo necesario dar servicio, como mínimo:

- a la Jefatura del Cuerpo, ubicada en el ayuntamiento
- a los dos vehículos policiales en servicio
- a los 8 agentes de servicio

La red posibilitará la configuración por flotas y grupos dentro de cada flota, permitiendo integrar usuarios con características operativas diferentes con total independencia, permitiendo su interconexión entre sí en un momento o situación determinada. A cada grupo de usuarios se le asignará un perfil de privilegios y prioridades donde quedan recogidas todas las prestaciones y posibilidades de funcionamiento, existiendo consecuentemente diferentes grupos con distintos privilegios y niveles de prioridad acordados operando sobre diferentes tipos de terminal que los soporten.

Con el fin de dar respuesta a futuras necesidades de los usuarios del sistema, tanto si se quiere una mayor cobertura o un aumento del tráfico, la solución técnica propuesta será escalable y ofrecerá la capacidad de crecimiento permitiendo una fácil evolución.

Asimismo se posibilitará la reconfiguración del sistema con la máxima flexibilidad en situaciones de necesidad como pudiera ser la celebración de eventos de carácter extraordinario en las que se precise potenciar la cobertura de un emplazamiento concreto.

La red debe reunir las máximas condiciones de seguridad y fiabilidad, de forma que en caso de avería o caída en alguno de sus elementos, la red siga operativa durante el tiempo necesario para proceder a la reparación de la avería. Por ello, la contará en todas sus Estaciones Base con un sistema de alimentación auxiliar que permita una autonomía de al menos 12 horas de duración a plena carga, con accionamiento o activación automática para evitar cortes en los equipos en los cuales dicha circunstancia pueda afectar a su correcto funcionamiento.

4.2.2 PLANIFICACIÓN TÉCNICA

Para formar parte de la red COMDES se deben de reunir los requisitos mínimos de diseño recogidos en el punto 4.2.2. Partiendo de esos datos, vamos a realizar la planificación de nuestra red.

4.2.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE RADIOCANALES NECESARIOS

Para dimensionar las radiobases o estaciones repetidoras del sistema (EB), es necesario considerar tanto la cantidad de usuarios del sistema que cursarán tráfico a través de la radiobase como las características del tráfico mismo, incluyendo los parámetros de calidad entre los cuales destacan la probabilidad de bloqueo y el grado de servicio (GoS).

Cálculos de tráfico

La cantidad de usuarios del sistema se indica a continuación:

- Un (01) terminal fijo, que será instalado la jefatura del Cuerpo de Policía, ubicada en el Ayuntamiento de Quart de Poblet.
- Dos (02) terminales móviles a ser instalados en los vehículos policiales.
- Ocho (08) terminales portátiles para utilizar por los Agentes de servicio.

De lo anterior se desprende que el número total de usuarios será de 11. No obstante, dimensionaremos el sistema para 20 usuarios para considerar un margen de seguridad y de calidad mayor.

Teniendo en cuenta que la red COMDES es un sistema trunking, es decir, un sistema sin pérdidas con cola de espera, se utilizarán las tablas de tráfico de Erlang C para estimar el número de canales de servicio necesarios.

Para ello calcularemos la intensidad de tráfico generado por los terminales en el peor caso, en hora cargada (HC), según la fórmula

$$A = \frac{M * L * H}{3600}$$

Donde A es la intensidad del tráfico medida en Erlangs
 M es el número de terminales
 L es el número de llamadas que hace cada terminal en hora cargada
 H es la duración media de una llamada del terminal en hora cargada

Según los requisitos de diseño del apartado 4.2.2, partimos de la siguiente hipótesis:

- Para el 95% de los terminales: 6 llamadas de 10 seg. por hora cargada (H.C.)
- Para el 5% de los terminales: 4 llamadas de 90 seg por hora cargada (H.C.)

Sustituyendo valores en la ecuación anterior obtenemos los resultados de la tabla 2.

Terminales (M)	Cantidad de llamadas por terminal (L)	Duración de la llamada (H)	Trafico Ofrecido por terminal (Erlangs)	Tráfico Total Ofrecido (Erlangs)
19 (95%)	6	10 seg	$1,6 \times 10^{-2}$	0,3167
1 (5%)	4	90 seg	0,1	0,1
			TOTAL	0,4167

Tabla 2. Valores de tráfico calculados, en Erlangs

Trasladando los resultados a las tablas de Erlang C y teniendo en cuenta que los requisitos del sistema son un GoS de 3% o inferior, podemos observar en la figura 7, resaltado en color amarillo, que con 2 canales sólo podríamos llegar hasta 0.2103 Erlangs. Este dimensionamiento no sería suficiente, por lo que necesitamos un mínimo de 3 canales con los que, según se observa en la misma figura, podríamos cursar un tráfico de 0.5545 Erlangs.

Erlang C Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N
B is in %

N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0100	.0200	.0500	.1000
2	.0142	.0319	.0452	.1025	.1465	.2103	.3422	.5000
3	.0860	.1490	.1894	.3339	.4291	.5545	.7876	1.040
4	.2310	.3533	.4257	.6641	.8100	.9939	1.319	1.653
5	.4428	.6289	.7342	1.065	1.259	1.497	1.905	2.313
6	.7110	.9616	1.099	1.519	1.758	2.047	2.532	3.007
7	1.026	1.341	1.510	2.014	2.297	2.633	3.188	3.725
8	1.382	1.758	1.958	2.543	2.866	3.246	3.869	4.463
9	1.771	2.208	2.436	3.100	3.460	3.883	4.569	5.218
10	2.189	2.685	2.942	3.679	4.077	4.540	5.285	5.986

Figura 7. Tabla Erlang C en la que se relaciona el número de canales (N) con el tráfico según el GoS requerido (B)

Teniendo en cuenta que al tratarse de un sistema TETRA, cada radiocanal proporciona 4 canales de tráfico de 25 KHz, podríamos considerar que con un solo radiocanal sería suficiente. Sin embargo, otro de los requisitos de la red COMDES era tener un número mínimo de radiocanales en la EB según el tipo de emplazamiento (estratégico, medio o básico). Consideraremos el emplazamiento de nuestra EB como “medio y especial” debido a que no se trata de un emplazamiento estratégico por no ser una capital de provincia o núcleo de población importante, pero tampoco lo consideraremos básico porque es la única EB del municipio objeto del presente proyecto. Por lo tanto, deberemos tener como mínimo dos radiocanales. Esto significa que tendremos un total de 8 canales de tráfico en nuestra red. Según la figura 7, en verde podemos comprobar que 8 canales permitirían trabajar con una intensidad de tráfico de 3.246 Erlangs.

Sin embargo, los sistemas trunking pueden tener canales de control compartidos con los canales de tráfico o canales exclusivos. El caso más restrictivo sería disponer de un canal de control exclusivo, en cuyo caso el número total de canales de tráfico disminuiría a 7. Si observamos de nuevo la figura 7, resaltado en rojo podremos observar que con 7 canales, el sistema sería capaz de operar con una intensidad de tráfico de hasta 2.633 Erlangs, lo que significa que nuestra red podría crecer hasta los 130 usuarios.

4.2.2.2 LOCALIZACIÓN DE LA EB

Teniendo en cuenta que la infraestructura se prevé utilizando exclusivamente emplazamientos de titularidad municipal, supondremos inicialmente que solo será necesaria la utilización de una sola base o EB.

Para abaratar costes de cableado y localización de equipos, partiremos de una primera hipótesis de ubicación de la EB en el propio Ayuntamiento, lugar donde también se encuentra la Jefatura de Policía Local, con la finalidad de abaratar costes en la instalación. Las coordenadas GPS de la EB serán:

Latitud: 39°28'58,10" N
Longitud: 0°26'32,50" W

4.2.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA EB

Respecto a las características de la EB, deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS
 - Banda de frecuencias: 380-470 MHz
 - Espaciado de Frecuencia (programable): 10 MHz
 - Operación en inversa programable
 - Offset de Frecuencia (programable): 0, 6.25 ó 12.5 KHz
 - Máximo error de frecuencia de la portadora: 0.2 ppm
 - Ancho del canal: 25 KHz
 - Acceso Múltiple por división de tiempo (TDMA): 4 canales físicos por portadora
- CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTACIÓN
 - Alimentación: 24 V o a 48 V nominales.
 - Consumo: <250 vatios por portadora

Pese a que el estándar TETRA es abierto y permite una plataforma multivendedor, es decir que los sistemas aceptan equipos terminales de usuarios de cualquier fabricante que cumpla con la norma, es recomendable que la infraestructura sea del propio fabricante del sistema para lograr total compatibilidad. En este sentido, se recomienda que los equipos repetidores (radiobases o EB) sean del fabricante de la infraestructura, en este caso EADS que actualmente pertenece a la empresa AIRBUS. Por ello hemos elegido la TB3 TETRA Base Station de Airbus, en cuya ficha técnica podemos observar que transmite con una potencia de 25 vatios.

4.2.2.4 EQUIPACIÓN DE LA EB

Como vimos en el punto 4.2.1, cualquier equipo que se incluya en la red cumple las normas técnicas exigidas por la ley:

1. Compatibilidad electromagnética:
 - EN 300 827 / ETS 300 279.
2. Temperatura de funcionamiento y almacenaje:
 - IEC 68 / M3L-STD 810 (C, D y E)
3. Resistencia a vibraciones, caídas y golpes:
 - IEC 68 / MIL-STD 810 (C, D y E)
4. Resistencia a la salinidad:
 - IEC 68 / MIL-STD 810 (C, D y E)

Alimentación y Autonomía

La EB incorpora un sistema autónomo de energía suficiente para su funcionamiento continuado durante más de 12 mediante baterías de Pb-gel que carecen de mantenimiento.

La alimentación principal será, de 230 V, 50 Hz.

La entrada de alimentación se protegerá con descargadores de primera calidad adecuados a la entrada de la caseta, conectada a la línea de tierras exterior.

Los equipos incluidos dentro del Sistema se alimentarán de un cuadro eléctrico independiente a los existentes, de nueva instalación, dotado de dispositivos rearmables por actuación remota o automática.

Se dotará de un sistema de alarma de pérdida de alimentación principal y cuya indicación se reciba en los sistemas de monitorización de alarmas centrales.

Se dotará de un sistema de alarma de bajo nivel de alimentación de emergencia y cuya indicación se reciba en los sistemas de monitorización de alarmas centrales.

Cableados y equipos de RF

Todas las acometidas de corriente, cableados de control, conexiones o cableados de RF se instalarán con altos criterios de calidad, peinados y etiquetados al menos en sus extremos, antes y después de cada conector y a la entrada de equipos. Las identificaciones etiquetadas se corresponderán con las reseñadas en la documentación.

Para el tendido interior de cableados se utilizarán soportes de rejilla metálica que correrán por el techo del emplazamiento. Las entradas desde la torre hacia la caseta se realizarán a través de fijaciones al efecto, sin utilización de cables colgantes.

El paso al interior de caseta se realizará con pasamuros y prensaestopas adecuados a cada tipo de cable, con un descargador acoplado a los cables lo más próximo posible, por el exterior, al pasamuros.

Los tendidos de cable de RF en torres se realizarán peinados y paralelos y con fijaciones de acero inoxidable y plástico de intemperie cada 1,5 metros como mínimo, adaptándose a la estructura de la torre para definir la distancia final entre fijaciones.

Los soportes de antenas serán de acero galvanizado en caliente.

Todos los conectores expuestos a la intemperie se rellenarán con silicona y encintarán con cinta autovulcanizable para intemperie.

A la entrada de la caseta, pie de torre y al menos cada 20 metros de tendido en la torre se instalarán descargadores en los cableados de RF.

Torres de antenas, descargadores y tierras

Para la elevación de la antena se utilizará la torre 450 de acero galvanizado de la marca Televés, que permite su elevación mediante el empleo de módulos de 3 metros.

Las bajadas de pararrayos se adecuarán para quedar realizadas por cable de cobre de al menos 1 cm de diámetro, con fijaciones cada 1,5 metros como máximo (adaptadas a la geometría de la torre) y tendido lo más alejado posible de las bajadas de RF.

Las instalaciones de tierras deberán quedar con un anillo en el entorno de la caseta, o estructura de emplazamiento, con picas en: cada esquina de la caseta, al pie de

cada pata de la torre y a la entrada de cables a la caseta; todo conectado, a su vez, a la línea de masas (en banda de cobre de 5 x 20 mm) que recorra los interiores de la caseta.

Caseta y Climatización

Se instalará el rack Bastidor de la marca Televés que posee puerta de cristal templado y laterales accesibles, facilitando la instalación y su ventilación.

Para evitar posibles fallos de funcionamiento, en la habitación preparada para albergar los sistemas de comunicación se instalarán un sistema de aire acondicionado para mantener la temperatura interior entre los 15°C y los 25°C.

En la ilustración 1 podemos observar un ejemplo de caseta de instalación realizada en otros Ayuntamientos.



Ilustración 1. Instalación real de EB en un Ayuntamiento

4.2.2.5 ESTUDIO Y CÁLCULO DE COBERTURA

Los elementos básicos para poder realizar los estudios de cobertura son los valores iniciales de potencia, sensibilidad, ganancia de antenas y otros, que a veces son modificados posteriormente, para poder alcanzar la cobertura requerida, eliminar zonas de sombra, y proporcionar una determinada calidad de servicio según los resultados que se obtengan.

Para la realización del estudio de Cobertura emplearemos la herramienta Xirio Online que permite realizar cálculos de cobertura radioeléctrica de forma gratuita. Veamos paso a paso cómo se ha configurado la herramienta para la realización de los cálculos.

En primer lugar procedemos a la creación de un nuevo estudio de cobertura, indicando que se trata de tecnología TETRA, tal y como se puede observar en la imagen 8. Para facilitar el estudio, utilizaremos el modo asistente.

Crear nuevo estudio

Seleccione un tipo de estudio

- Enlace
- Cobertura**
- Cobertura de interior
- Cobertura multitransmisor
- Red de transporte

Estudio de cobertura:

Este estudio representa valores de la señal impuesta por un transmisor, en términos de campo eléctrico o potencia, en todos los puntos dentro del área seleccionada por el usuario.

[Leer más](#)

Seleccione un servicio o tecnología

Categoría:

Subcategoría:

Servicio:

Utilizando el modo asistente podrá crear de forma sencilla estudios de cobertura. También le permitirá crear múltiples sectores en un mismo emplazamiento.

Figura 8. Creación de un nuevo estudio de cobertura en Xirio

A continuación procedemos a la ubicación e introducción de los parámetros de transmisión de la EB. Como hemos indicado anteriormente, la ubicación será la azotea del Ayuntamiento de Quart de Poblet, por lo que introducimos sus coordenadas GPS, tal y como podemos observar en la figura 9.

Nombre y ubicación del sector

Sector

Nombre:

Identifica el transmisor en XIRIO ONLINE.

Coordenadas

Latitud:

Longitud:

Ubicación geográfica del transmisor. Introduzca directamente las coordenadas geográficas (longitud y latitud). También puede introducir coordenadas UTM (datum WGS84) mediante la calculadora de coordenadas o ubicar el transmisor pinchando directamente sobre el visor con el icono correspondiente.

-  Obtener ubicación de emplazamiento del catálogo
-  Pinchar ubicación directamente en el visor
-  Calculadora de coordenadas
-  Actualizar posición sobre el visor
-  Optimizar cota (busca una posición cercana con la cota superior)

Figura 9. Ubicación del transmisor en Xirio

➤ **PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN**

Para continuar, debemos introducir los datos relativos al transmisor y antena de transmisión. Los datos relativos al transmisor fueron especificados en el apartado 5.2.2.3, donde se especificó que la EB seleccionada es la TB3 TETRA Base Station de Airbus, que transmite con una potencia de 25 watos.

Respecto a la antena, para asegurar la compatibilidad del estudio de cobertura, realizaremos la simulación con una antena omnidireccional TETRA con polarización vertical que presenta una ganancia de 5 dBi. El edificio del ayuntamiento tiene 3 plantas, supondremos que la altura a la que se encuentra la azotea es de 15 metros.

Teniendo en cuenta que la finalidad del presente proyecto es dar cobertura a todo el término municipal de Quart de Poblet, el cual presenta una extensión de 20 Km², para evitar posibles pérdidas con edificios de más altura, situaremos la antena en una torre modelo 450 de la marca Televés a 10 metros de altura sobre la azotea del edificio.

Por último, supondremos 2 dB de pérdidas debido al cableado, conectores y equipos.

Todos estos datos deberán ser introducidos según se observa en la figura 10.

Configuración de parámetros del sector

Parámetros del sector Ayuda

Los parámetros de radio del transmisor se han configurado automáticamente para el servicio radioeléctrico del estudio. Es conveniente que revise y personalice los mismos.

Tipo sistema: Standard

Antena: Trunking digital 5 dBi Omni

Altura antena: 10 m

Orientación: 0 °

Inclinación mecánica: 0 °

Inclinación eléctrica: 0 °

Referencia de alturas de antenas

Alturas respecto a: Nivel de azotea

Usar altura de edificio: Capa de elevación (MDE)

Altura edificio: 15 m

Frecuencias de transmisión

Frecuencias
395.000 MHz

Polarización: Vertical

Feeder:

Longitud del feeder: 0 m

Pérdidas del feeder: 0.00 dB

Pérdidas pasivos: 2 dB

Potencia: 25 W

Figura 10. Configuración del transmisor en Xirio

➤ **PARÁMETROS DE RECEPCIÓN**

Como hemos visto, en nuestra red tenemos dos tipos de terminales de recepción: los terminales móviles, es decir, aquellos que irán instalados en los vehículos policiales; y los terminales portátiles, que son aquellos que llevarán cada uno de los agentes en servicio. Cada uno de estos tipos de terminales poseen características de recepción diferentes, por lo que realizaremos una simulación de cobertura diferente para cada uno, tal y como se puede observar en la figura 11.

- **TERMINALES MÓVILES:**

Estos terminales vienen acompañados una antena omnidireccional de 3.5 dBi la cual será instalada en el techo del vehículo patrulla, es decir, a una altura media de 2 metros del suelo. Para estos terminales, supondremos unas pérdidas de 1 dB debido al cableado y conectores, valorando así el peor de los casos.

En cuanto a las pérdidas, debido a los cables y conectores, nos pondremos en el peor de los casos y supondremos 1 dB de pérdidas.

- **TERMINALES PORTÁTILES**

Para estos terminales supondremos los valores más bajos: ganancia de la antena de 1 dBi, sin pérdidas debido a que se trata de un equipo compacto y con una altura de 1 metros, ya que se supone que el agente lo portará en el cinturón o en la mano.

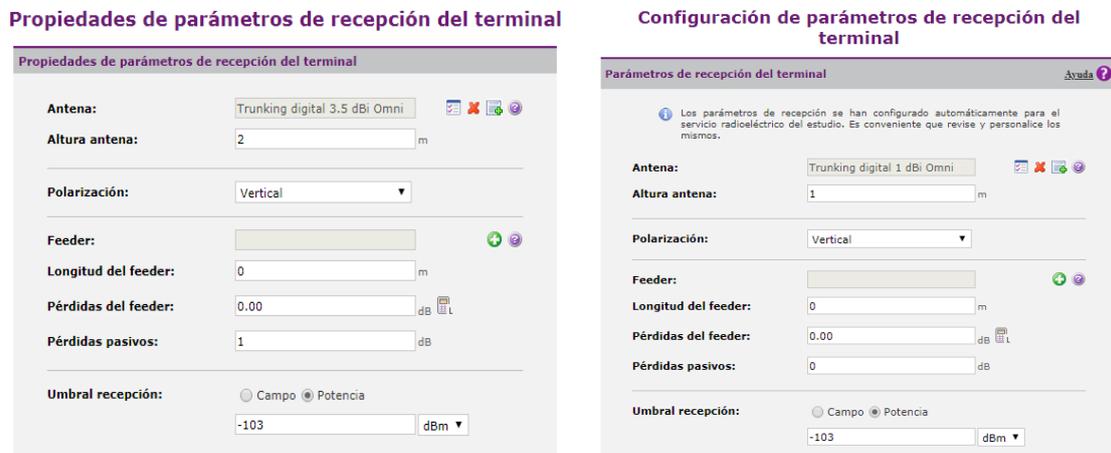


Figura 11. Datos de recepción para terminales móviles, izquierda, y terminales portátiles, derecha.

4.2.2.6 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En la tabla 3 podemos ver un resumen de los valores de transmisión y recepción utilizados en la simulación y anteriormente justificados.

Parámetro de Cálculo	EB	Móvil	Portátil
Potencia	25 W	-----	-----
Sensibilidad	-112 dBm	-103 dBm	-103 dBm
Frecuencia Tx	390 - 400 MHz	380 – 390 MHz	380 – 390 MHz
Frecuencia Rx	380 - 390 MHz	390 - 400 MHz	390 - 400 MHz
Polarización	Vertical	Vertical	vertical
Ganancia de Antenas	5 dBi	3.5 dBi	1 dB
Perdidas	2 dB	1 dB	0 dB
Altura de la antena	25 m (sobre azotea)	2 m	1 m

Tabla 3. Resumen de los parámetros de Tx y Rx para simulación en Xirio

Antes de proceder a la simulación, debemos elegir el método de cálculo de propagación a utilizar. El método recomendado varía en función del terreno y de las frecuencias empleadas. Para nuestro de entorno urbano y frecuencias entre 380-400 MHz, utilizaremos el método de propagación de Okumura-Hata modulado, que mejora al modelo de Okumura-Hata al realizar correcciones en función del terreno.

Color	Rango
	[-104.00 , -94.00) dBm
	[-94.00 , -84.00) dBm
	[-84.00 , Infinity) dBm

Figura 12. Rangos de señal y color

Teniendo en cuenta los rangos de señal de la figura 12, la representación gráfica de las zonas de coberturas las podemos observar en las figuras 13 y 14.



Figura 13. Cobertura para terminal móvil simulada en Xirio

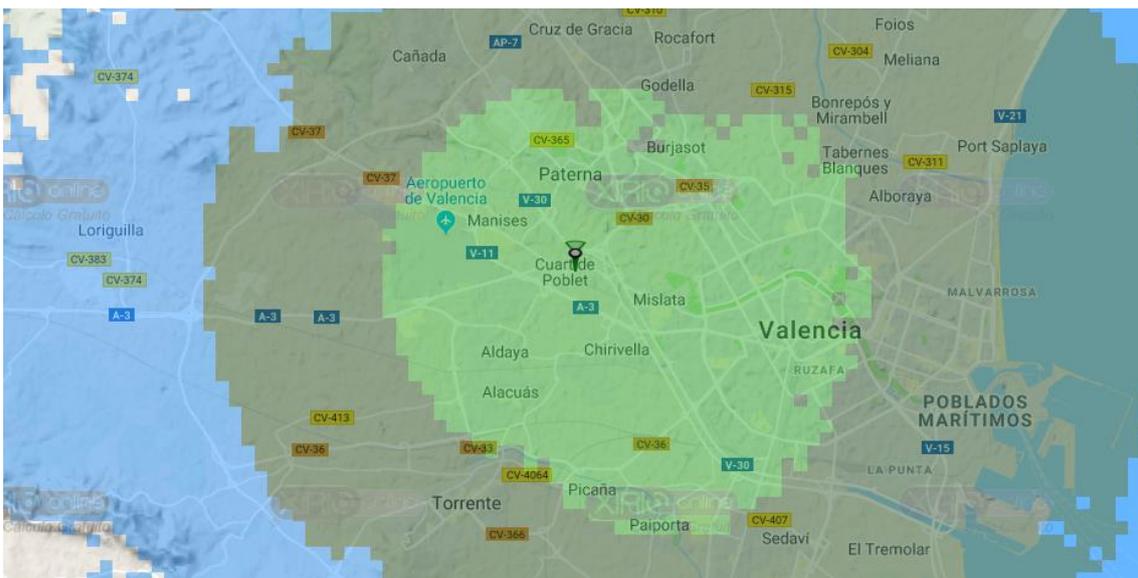


Figura 14. Cobertura para terminal portátil simulada en Xirio

Comparando ambas figuras, podemos observar que la zona de cobertura verde del terminal portátil es menor que la del terminal móvil, lo que significa es lógico debido a que los parámetros de altura y ganancia de la antena del terminal portátil son peores.

Aparentemente, en ambas simulaciones tenemos una cobertura adecuada. Aún así en la tabla 4 hemos plasmado los niveles de intensidad calculados para algunas de las zonas más alejadas del municipio. Podemos observar que todos los niveles de intensidad se encuentran por encima de la sensibilidad mínima de -103 dBm.

LUGAR	DIRECCION	COORDENADAS	MÓVIL	PORTATIL
Bonaire	Autovía A3	39°28'33.28"N 00°29'01.63 W	-76.28 dBm	-80.88dBm
Barrio del Cristo	C/ Santísimo Cristo	39°28'33.66"N 00°27'29.27 W	-62.85 dBm	-67.49 dBm
Zona faitanar	Avda. Castilla	39°28'13.98"N 00°25'31.72"W	-58.94 dBm	-63.54 dBm

Tabla 4. Intensidad de señal en zonas más alejadas

Recordemos que en el punto 4.2.2 se recogía como requisito de diseño una cobertura no inferior al 85% del territorio, con una calidad mínima del 95% de las ubicaciones a nivel de calle y para terminal portátil.

En la figura 15 se puede observar la cobertura en una vista satélite del casco urbano, observando que el nivel de intensidad de señal siempre se mantiene en la zona verde, es decir, hay una intensidad de señal superior a -84 dBm.



Figura 15. Cobertura para terminal portátil en casco urbano

Tras la realización de varias mediciones del nivel de intensidad en algunos de los lugares más importantes del casco urbano, recogidos en la tabla 5, podemos confirmar que se cumplen los requisitos de cobertura del sistema COMDES.

LUGAR	DIRECCIÓN	COORDENADAS	MEDICIÓN
IES SENDA	José Vento González	39° 28' 40.74" N 00° 25' 54.81" W	-53.64 dBm
EOI QUART DE POBLET	Xiquet de Quart	39° 28' 48.72" N 00° 25' 59.06 W	-51.22 dBm
Auditorio Molí de la Vila	Pinzón	39° 29' 05.39" N 00° 26' 37.41 W	-50.04 dBm
COLEGIO SAN ENRIQUE	Reverenda Madre Asunción Soler Gimeno 6	39° 29' 06.11" N 00° 26' 47.98" W	-55.48 dBm
JUZGADOS	Villalba de Lugo 15	39° 29' 03.95" N 00° 26' 58.12" W	-60.16 dBm
CENTRO DE SALUD	Trafalgar	39° 28' 59.55" N 00° 26' 54.35" W	-52.67 dBm
BIBLIOTECA	Padre Jose Palacios	39° 28' 53.46" N 00° 26' 34.33" W	-42.52 dBm
IES RIO TURIA	Grabador Esteve 6	39° 29' 10.06" N 00° 26' 49.95" W	-55.48 dBm

Tabla 5. Intensidad de señal en zonas más importantes

4.3. RED DE TRANSPORTE

Denominamos red de transporte a la red de interconexión entre la EB y el centro de control de la Red COMDES. En este caso la red COMDES no determina características específicas, sino que únicamente establece que tenga un ancho de banda suficiente para la interconexión de las EB con los centros de control.

4.3.1 SELECCIÓN DE EMPLAZAMIENTO DE CONEXIÓN

Aunque la ubicación de los centros de control de la red COMDES no son públicos, hemos encontrado una lista de los emplazamientos iniciales. De entre los que todavía se encuentran operativos, los más cercanos al municipio de Quart de Poblet son los reflejados en la tabla 6, en la que también se pudo observar la distancia que hay al ayuntamiento, es decir, a la EB.

CENTRO DE CONTROL	COORDENADAS	DISTANCIA AYTO
PATERNA	39°31'07.82" N 00°27'45.69" W	4.40 m
CENTRO DE PRODUCCIÓN DE PROGRAMAS DE TELEVISIÓN VALENCIANA	39°30'01.00" N 00°24'21.03" W	3.692 m
VALENCIA	39°29'02.99" N 00°23'08.98" W	4.85 m

Tabla 6. Ubicaciones de los centros de control red COMDES

Comparada la distancia de cada uno de los centros de control con nuestra EB, podemos confirmar que el más cercano es el CPP Valencia que se encuentra a una distancia de 3.692 m del Ayuntamiento de Quart de Poblet cuya medición se puede observar en la figura 16.



Figura 16. Distancia entre las ubicaciones del EB, izquierda, y el CPP Valencia, derecha

4.3.2 SIMULACIÓN DEL ENLACE

Para la simulación del enlace utilizaremos la versión online de Radio Mobile que es un software libre que permite simular cálculos de radioenlaces de larga distancia, utilizando las características del terreno y de los equipos (potencia, sensibilidad, características de las antenas, pérdidas, etc.).

En primer lugar, introduciremos en el programa las ubicaciones de la EB y del centro de control CPP Valencia, tal y como se puede observar en la figura 17.

Mis sitios(4)		Mis sitios(4)	
EBTS		CPP Valencia	
Latitud	39.48281189	Latitud	39.50011199
Longitud	-0.44232642	Longitud	-0.40595743
Zoom	19	Zoom	18
Elevación (m)	44.60	Elevación (m)	29.00
Descripción		Descripción	
Grupo		Grupo	
Latitud	39° 28' 58.12"N	Latitud	39° 30' 00.40"N
Longitud	000° 26' 32.38"W	Longitud	000° 24' 21.45"W
QRA	IM99SL	QRA	IM99TM
UTM (WGS84)	30S E719975 N4373480	UTM (WGS84)	30S E723048 N4375490
Ver en Google Maps		Ver en Google Maps	

Figura 17. Ubicaciones EB y centro de control COMDES en Radiomobile

Para crear el enlace necesitamos los valores de potencia, ganancia, etc. Por lo que debemos elegir la antena antes de seguir. En este caso hemos elegido un enlace de microondas a la frecuencia de 5.7 GHz mediante la antena LiteBeam del fabricante Ubiquiti que permite alcanzar velocidades de hasta 450 Mbps. Esta antena está diseñada para enlaces de largo alcance y presenta una ganancia de 23 dBi y una potencia de transmisión de 24 dBm (0.251 w).

En la figura 18 se puede observar que también es necesario introducir la altura de las antenas. En el caso de la estación EB utilizaremos los mismos datos que hemos empleado en el cálculo de cobertura del apartado 5.2.2.4: 15 metros de edificio y 10 metros de torre, lo que hace un total de 25 metros. En cuanto a la altura del centro de control, supondremos que la antena se encuentra a una altura de 40 metros ya que se tratará de una ubicación utilizada para la radiodifusión de programas de televisión. Para ponernos en el peor de los casos de simulación, no modificaremos los valores de ganancia de la antena en recepción, dejándolo a los valores mínimos que aparecen por defecto.

Radio Mobile

Nuevo enlace

Desde: Red de transporte*****

De: EBTS

Altura de la antena (m sobre el suelo): 25 (82.02 ft)

A: CPP Valencia

Altura de la antena (m sobre el suelo): 40 (131.23 ft)

Descripción: Red de transporte

Frecuencia (MHz): 5700

Potencia Tx(Watts): 0.251 (24.00 dBm)

Pérdida de la línea Tx (dB): 3

Ganancia de la antena Tx (dBi): 23

Ganancia de la antena Rx (dBi): 2

Pérdida de la línea Rx (dB): 0.5

Sensibilidad Rx (µV): 0.5 (-113.02 dBm)

Fiabilidad requerida (%): 70

Utilizar cobertura del terreno:

Utilizar dos rayos:

Figura 18. Datos del enlace en Radiomobile

Una vez introducidos los datos anteriores podremos realizar la simulación del enlace, obteniendo la pantalla de la figura 19. En ella se puede observar que la intensidad de señal recibida será de -95.14 dBm. Esta mala recepción de señal puede deberse a que, tal y como se puede apreciar con más detalle en la figura 20, la antena del EB queda parcialmente oculta por un edificio.

Como solución, elevaremos la antena 10 metros más mediante el empleo de una torreta, consiguiendo alcanzar los 35 metros de altura (15 metros del edificio más 20 metros de la torreta).

Los resultados de la segunda simulación pueden observarse en la figura 19.

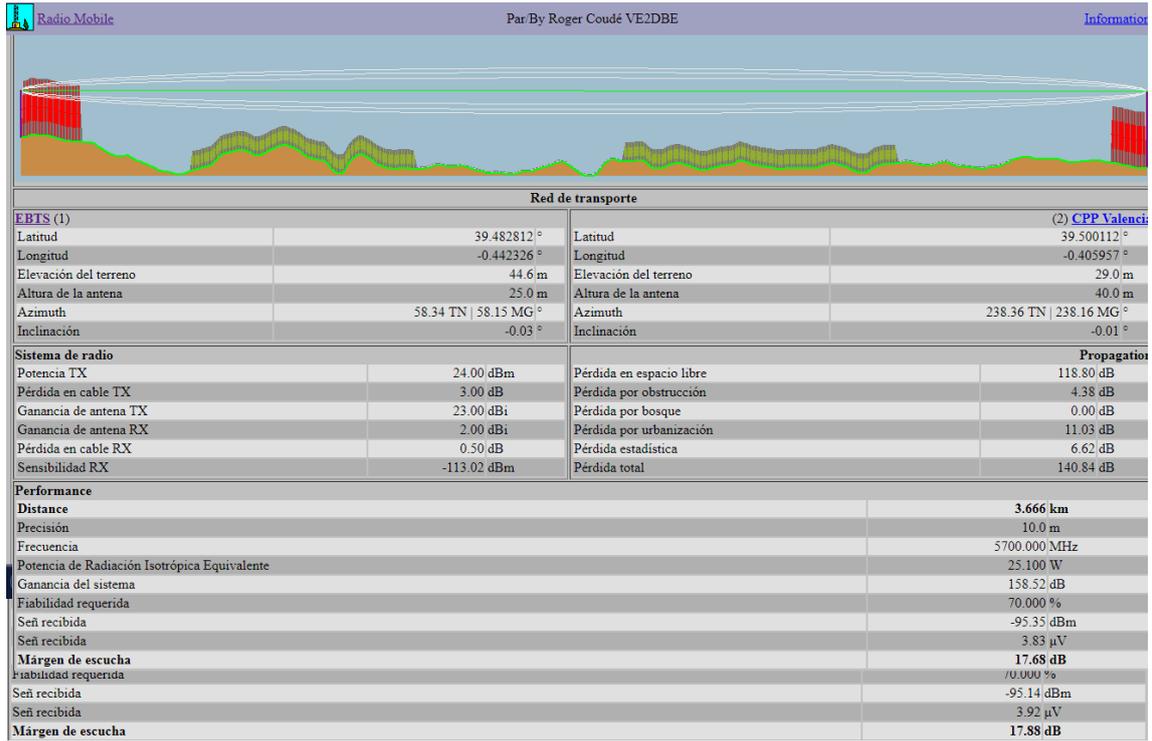


Figura 19. Resultado simulación del enlace con Radiomobile

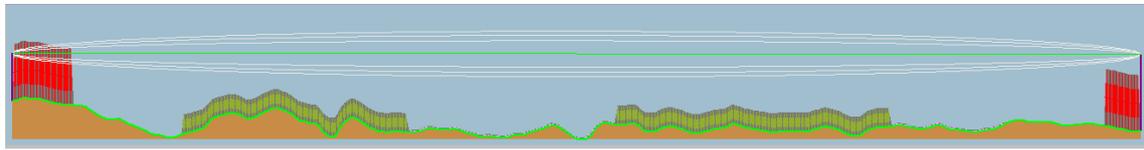


Figura 20. Perfil enlace con antena de EB a 25 metros de altura

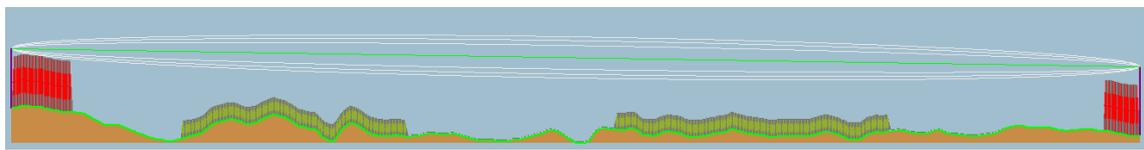


Figura 21. Perfil enlace con antena de EB a 35 metros de altura.

En las figura 21 podemos observar cómo después de haber elevado la antena del EB, las líneas que representan la transmisión no colisionan con nada.

Tras la realización de la simulación, en la figura 22 se puede comprobar que la elevación de la antena conlleva una mejora importante en la señal recibida que pasa de -95.35 dBm a -74.59 dBm.

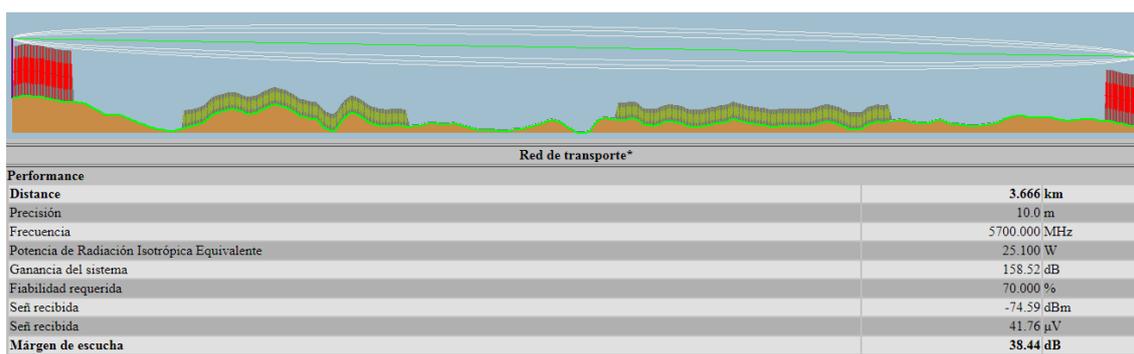


Figura 22. Resultado simulación del enlace con antena de EB a 35 metros.

Finalmente, y aunque en los parámetros de diseño del punto 4.2.2 no se establecía nada respecto a la red de transporte, debemos suponer una mayor o igual robustez de la misma con respecto a la red de cobertura. Por ello, realizaremos la simulación suponiendo un margen de fiabilidad del 95%, obteniendo como resultado una intensidad de señal en el receptor de -89.34 dBm, lo que se puede apreciar en la figura 22.

Performance	
Distance	3.666 km
Precisión	10.0 m
Frecuencia	5700.000 MHz
Potencia de Radiación Isotrópica Equivalente	25.100 W
Ganancia del sistema	158.52 dB
Fiabilidad requerida	95.000 %
Señal recibida	-89.34 dBm
Señal recibida	7.64 µV
Márgen de escucha	23.68 dB

Figura 23. Resultados simulación del enlace con 95% de fiabilidad

➤ RESUMEN DE LAS SIMULACIONES Y RESULTADOS

EB

- Ubicación: 39°28'58.10"N 0°26'32.50"W

CPP Valencia

- Ubicación: 39°30'01,00" N 0°24'21,03" W
- Altura de antena: 40 metros.

Enlace:

- Frecuencia: 5.7 GHz
- Potencia de Tx: 24 dBm
- Ganancia de antena Tx: 23 dBi
- Ganancia de antena Rx: 2 dBi
- Pérdida Tx: 3 dB
- Pérdida Rx: 0.5 dB

ALTURA DE ANTENA	25 m	35 m	35 m
FIABILIDAD	70%	70%	95%
SEÑAL EN RX	-95.14 dBm	-74.59 dBm	-89.34dBm

Tabla 7. Resumen de los resultados obtenidos en la simulación del enlace

A la vista de los resultados obtenidos, una vez rectificada la altura de la antena, permitirán una buena comunicación entre EB y centro de control.

Además, el fabricante de la antena seleccionada, Airlink, posee una herramienta web online y gratuita para la simulación del enlace. En la figura 24 podemos observar que los datos requeridos para la simulación son muy escasos: ubicados los puntos de enlace, solo hay que seleccionar la antena a utilizar, elegir la potencia de transmisión y establecer la altura de los emplazamientos.

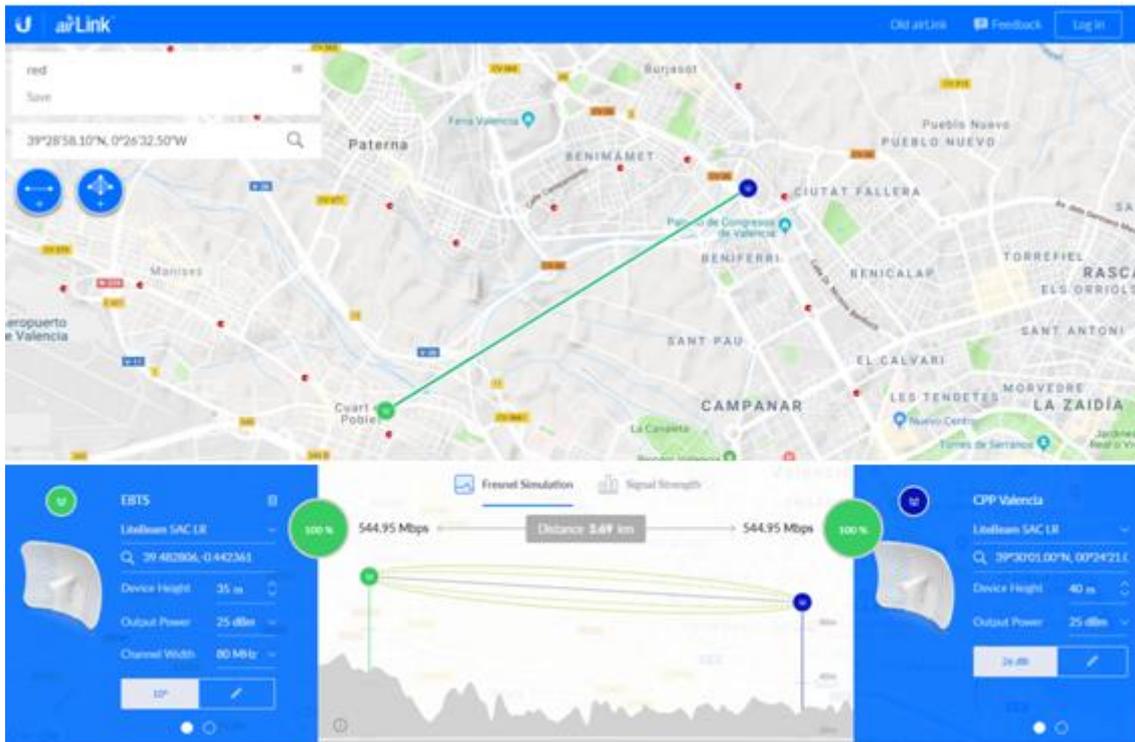


Figura 24. Datos de simulación de enlace en web Airlink

Los datos de simulación obtenidos los podemos apreciar en las figuras 25 y 26 en las que podremos observar cómo varía la velocidad de transmisión en función del ancho de banda del canal.



Figura 25. Resultados de la simulación en web Airlink

4.4. TERMINALES

Para asegurar la plena compatibilidad de los terminales con la red COMDES, estos cumplirán los requisitos técnicos referidos en el apartado 4.2.1.

Además, los terminales suministrados permitirán, entre otros, las siguientes funciones:

- Los terminales permitirán el funcionamiento en modo TMO y DMO,
- Realización de llamadas individuales, de grupo, de emergencias y generales.
- Funcionamiento en dúplex y semidúplex
- Identificación de usuarios y grupos
- Transmisión de datos en modo paquete.

En cuanto a las características físicas, los terminales suministrados poseerán:

- Teclado alfanumérico. Teclado alfanumérico: debe ser capaz de controlar el terminal
- Botón PTT. Este botón se diferencia de los demás en ubicación y dimensiones y permite iniciar una conversación.
- Botón de emergencia. Se encuentra en una localización fácilmente accesible al usuario y es de color llamativo.
- Auricular y función de altavoz (manos libres) integrado en terminal.
- Pantalla a color, donde se puede indicar la cobertura, modo de funcionamiento y cuanta información sea necesaria para poder configurar y utilizar los distintos servicios del terminal, además de los de voz y datos que pueda usar el terminal.
- Botones o teclas de control de funciones internas del terminal.
- Botones o teclas de encendido / apagado del terminal.
- Botones o teclas de volumen de auricular / altavoz.

- Auricular y función de altavoz (manos libres) integrado en el terminal.
- Botones de cambio de grupo de comunicación.
- Puerto estándar de interconexión a otros dispositivos de intercambio de datos: los terminales disponen de un puerto PEI (peripheral equipment interface) para la conexión de equipos periféricos, de acuerdo con la especificación ETS 300 392-5.
- Ajuste automático de potencia de transmisión.

Podemos distinguir tres tipos de terminales:

4.4.1. TERMINALES FIJOS

Son los terminales adaptados a posiciones fijas. En este caso será el terminal a instalar en la Central de Policía. Para ello se ha seleccionado el terminal SRG3900 de la marca Sepura, con la Sepura Colour Console. El terminal será adquirido dentro de un kit con los siguientes componentes:

- Terminal fijo terminal SRG3900 de la marca Sepura, con la Sepura Colour Console
- Antena de la marca Sepura con ganancia de 2.15 dBi.
- Micrófono de escritorio.
- Altavoz exterior.
- Fuente de alimentación.

En la ilustración 2 podemos observar un ejemplo de instalación de un terminal fijo:



Ilustración 2. Instalación real de terminal fijo en Central de Policía Local

4.4.2. TERMINALES MÓVILES

Son los terminales aptos para ser instalados en vehículos. El terminal elegido para su instalación en los dos vehículos patrullas es el modelo MT680 de la marca Hytera. El kit del terminal será adquirido en dentro de un kit que será constituido por los siguientes componentes:

- Terminal radio móvil MT680 de la marca Hytera.
- Antena marca Hytera adaptada e instalada en el vehículo con 3.5 dBi de ganancia.
- Microaltavoz de mano con PTT.

Se presupuestarán 2 terminales móviles y su correspondiente instalación en vehículos patrullas. Un ejemplo de instalación realizada en otros vehículos patrullas lo podemos observar en la ilustración 3.



Ilustración 3. Instalación real de terminal móvil en vehículo patrulla.

4.4.3. TERMINALES PORTÁTILES

Son los que llevan consigo los usuarios de la red, es decir, los agentes de servicio, como un elemento más de trabajo. Se han seleccionado el terminal SP900 de la marca Sepura, el cual viene acompañado de los siguientes componentes:

- Antena flexible
- Batería de alta capacidad
- Cargador de viaje
- Funda protectora con pinzas para su sujeción en el cinturón del uniforme del usuario.
- Micrófono de solapa compuesto por microaltavoz con PTT de mano que admita la conexión de un auricular.

En este caso se presupuestarán 8 terminales portátiles.

4.5. FORMACIÓN

Se impartirán dos cursos de formación destinados a toda la plantilla de Policía Local así como a todo el personal que la Jefatura del Cuerpo de Policía estime oportuno. El índice de los temas del curso es el siguiente:

1. Descripción general del Sistema TETRA
 - Generalidades.
 - Facilidades del Sistema.
2. Operativa del Sistema TETRA
 - Tipos de llamadas.
 - Tipos de terminales.
 - Realización de llamadas a nivel de usuario.
3. Estructura general del Sistema TETRA
 - Esquema general.
 - Estaciones base TETRA.
4. Terminales de radio.
 - Equipo portátil
 - Equipo móvil
 - Equipo fijo
5. Despachador vía línea
 - Puesto de operador
 - Funcionalidad
6. Explotación del Sistema
 - Sistema de Gestión
 - Configuración del Sistema TETRA
 - Programación de los terminales.
7. Mantenimiento
 - Estación Base TETRA
 - Sistema de Gestión
 - Terminales de radio.
 - Sistema radiante.
8. Simulaciones.

Durante la impartición del curso se entregarán manuales de los equipos así como de los elementos que forman parte de la infraestructura.

4.6. PRESUPUESTO

ELEMENTO	PRECIO UNI	UNIDADES	PRECIO
Estación Base TB3 TETRA Base Station de Airbus	56.913 €	1	56.913 €
Antena 5GHz Ubiquiti LiteBeam 23dBi 450Mbps	180,18 €	1	180,18 €
Antena Omnidireccional Batem UHF Especial TETRA 380-435 MHz 5,15 dBi	193,60 €	1	193,60 €
Torre 450 de Televés 3 m	764 €	7	5.348 €
Instalación torre con argollas y cable	55 €	3	165 €
Rack bastidor Televés	725 €	1	725 €
Aire acondicionado Mitsubishi MSZHR35VF 2924Frig/H A++	469 €	4	469 €
Terminal Sepura MT680 Kit fijo	1.056 €	1	1.056€
Terminal móvil Hytera MT680	769,85 €	2	1.539,7 €
Terminal portátil Sepura SP900	703,20 €	8	5.625,6 €
Instalación, configuración y formación			14.278,11 €
TOTAL			86.493,19, €

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO

El análisis de la tecnología TETRA, en la que se basa la red COMDES, ha evidenciado la necesidad de integración de todos los servicios de emergencias en la citada red por sus dos principales características: seguridad y robustez.

La integración de todos los servicios de emergencia en una misma red facilita una coordinación y gestión de los recursos, elementos clave en situación de emergencia. Por ello el objetivo final de la red COMDES debe ser expandirse para dar cobertura a todos los municipios de la comunidad, especialmente ante la posibilidad de creación de un cuerpo de policía autonómico.

Tras la elaboración del proyecto, podemos concluir que el coste de implantación de una red TETRA en un municipio es muy alto. Para abaratar su implantación se podría estudiar la posibilidad de utilizar una misma estación base para dar cobertura a varios municipios. En este caso, teniendo en cuenta que la red diseñada está dimensionada para dar servicio a 130 usuarios y que los municipios colindantes de Quart de Poblet poseen una plantilla de policía de entre 8 a 10 usuarios, se podría compartir el coste entre municipios como Aldaya, Alaquas, Xirivella, Mislata y Paterna.

Por otro lado, cabe destacar que las redes TETRA permiten utilizar la transmisión de datos por lo que una mejora a tener en cuenta sería el envío instantáneo de los datos relativos al servicio asignado a la patrulla de policía. Es decir, para evitar ocupar un canal de transmisión de voz, se podrían intercambiar mensajes de información entre la Central de comunicaciones y los agentes de servicio.

Sin embargo, la lenta velocidad de transmisión de datos es el principal problema de esta tecnología. Por ello, los principales proveedores de terminales como son Motorola, Hytera o Huawei están apostando por el empleo de terminales híbridos TETRA-4G que permiten mantener la seguridad y robustez de la tecnología TETRA con la alta velocidad de transmisión de la tecnología 4G.

Pero el mayor desafío de la tecnología TETRA llegará con el despliegue de la red 5G. Como hemos visto, uno de los principales motivos de la utilización de la tecnología TETRA para las comunicaciones críticas ha sido su robustez. La tecnología 5G traerá el network slicing, que permitirá la creación de “pequeños canales” de manera que si uno se encuentra colapsado, los demás puedan seguir operando. Uno de estos pequeños canales estaría destinado a las comunicaciones críticas, que tendrían preferencia sobre el resto de comunicaciones, posibilitando así un alto grado de robustez y poniendo en peligro la tecnología TETRA. Como hasta el completo despliegue de red 5G todavía quedarán varios años. Veremos cómo se adapta la tecnología TETRA.