



Universidad
Zaragoza



Trabajo Fin de Máster

PLANIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE RED TETRA PARA LA PROVINCIA DE ZARAGOZA

Solución de interoperabilidad con otras redes
celulares

Autor

David Terrado Izquierdo

Director

Emiliano Bernués del Río

Ponente

Antonio Valdovinos Bardají

Máster en Tecnologías de la Información y Comunicaciones en Redes Móviles

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2012

RESUMEN

El principal objetivo del trabajo es la planificación de una red de comunicaciones móviles para la provincia de Zaragoza, basada en la tecnología TETRA y cuya utilidad básica será la comunicación entre los servicios de emergencia de la Comunidad Autónoma de Aragón. Para ello se primará alcanzar el mayor número de superficie cubierta al menor coste sin comprometer la calidad de la red.

Se realizará un estudio de cobertura con emplazamientos reales y su correspondiente red de transporte para alcanzar el mayor porcentaje del territorio de la provincia. Según las características poblacionales, orográficas o debidas a las condiciones del emplazamiento se elegirá el equipamiento para cada nodo integrante de la red.

Las estaciones bases podrán ser de alta o baja capacidad, siendo estas últimas más flexibles a la hora de su instalación pero cuyo alcance y prestaciones resultan inferiores. Una de las características de los equipos de baja capacidad, en la mayoría de fabricantes, es su imposibilidad de funcionar en modo degradado de la red o de contar con radioenlaces no redundantes. Por esta razón, se sugerirá la integración de elementos adicionales, como gateways inteligentes, que avancen en la utilización de otras redes que minimicen un eventual aislamiento de la celda.

Hasta el momento en nuestro país, siempre se han desplegado las redes de emergencia TETRA de forma unívoca, sin que se considerase la posibilidad de emplear otras tecnologías que mejoren la eficiencia y los costes desde el punto de vista de la disponibilidad del servicio.

En resumen, se busca principalmente innovar a la hora de poder reutilizar las redes inalámbricas ya disponibles en entornos rurales y conseguir así:

- Lograr una cobertura máxima. Una red TETRA debe cubrir la mayor parte del territorio de actuación puesto que los servicios de emergencias como bomberos, agentes forestales, servicios sanitarios o de carreteras son los principales usuarios a los que va destinada.
- Lograr un coste mínimo. Se intentará reducir el coste con el menor impacto en la calidad para lograr la mejor cobertura. Aragón cuenta con una orografía muy complicada que dispara el coste en cualquier tecnología inalámbrica si se pretende alcanzar una cobertura máxima.
- Aprovechamiento de otras tecnologías inalámbricas. Se estudiarán las distintas alternativas necesarias para el aprovechamiento de otras redes existentes, como UMTS o de próxima implantación como LTE.

ÍNDICE

ÍNDICE DE IMÁGENES.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE SIGLAS	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. RED TETRA.....	13
2.1. Tecnología TETRA.....	13
2.2. Modos de utilización y usos	16
2.3. Usuarios potenciales	18
2.4. Futuro de TETRA.....	19
3. PLANIFICACIÓN DE COBERTURA	20
3.1. Método de cálculo.....	20
3.2. Balance de Potencias.....	22
3.2.1. Cálculo del enlace descendente (DOWNLINK)	24
3.2.2. Cálculo del enlace ascendente (UPLINK).....	25
3.2.3. Umbrales de cobertura	25
3.3. Prueba de Campo. Valdemadera	26
3.4. Cálculo de coberturas.....	31
3.4.1. Coberturas individuales.....	32
3.4.2. Cobertura global.....	35
3.4.3. Asignación de frecuencias.....	39
4. RED DE TRANSPORTE	41
4.1. Red Troncal.....	41
4.2. Red de Distribución	41
4.3. Red de Acceso	41
4.4. Red de Fibra Óptica	42
5. EQUIPAMIENTO TETRA	44
6. SOLUCIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE OTRAS REDES DE TELECOMUNICACIONES.....	48
6.1. Solución 1. Despliegue de red LTE paralela.....	48
6.2. Solución 2. Handover vertical. Utilización de otras redes existentes	49
6.2.1. Implementación de la solución 2	52
6.2.2. Ventajas e inconvenientes de la solución 2	55

7.	PRESUPUESTO	56
8.	CONCLUSIONES	58
9.	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXO 1. ESTACIONES BASE TETRA	61
	A1.1. Estaciones base de alta capacidad o <i>site base station</i> (SBS)	61
	A1.2. Nodo central o <i>switching control node</i> (SCN)	62
	A1.3. Estación base de baja capacidad o <i>mast-mount base station</i> (MBS)	63
	ANEXO 2. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE DE ALTA CAPACIDAD (SBS)..	67
	ANEXO 3. ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE.....	69
	ANEXO 4. TERMINALES.....	71

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.- Interfaces TETRA	14
Imagen 2.- Estructura de trama TDMA	15
Imagen 3.- Duplexado FDD TETRA	15
Imagen 4.- Comparativa de canales GSM / PMR / TETRA.....	16
Imagen 5.- Ejemplo de cálculo Deygout con 2 aristas.....	21
Imagen 6.- Ejemplo de cálculo UIT P.526.....	21
Imagen 7.- Área de La Almunia de D ^a Godina. UIT P.526-11	28
Imagen 8.- Área de La Almunia de D ^a Godina. Deygout	28
Imagen 9.- Área de Mainar. UIT P.526-11.....	29
Imagen 10.- Área de Mainar. Deygout.....	29
Imagen 11.- Área de Nigüella. UIT P.526-11	30
Imagen 12.- Área de Nigüella. Deygout	30
Imagen 13.- Ruta de Cariñena a Villanueva de Huerva. UIT P.526-11	31
Imagen 14.- Ruta de Cariñena a Villanueva de Huerva. Deygout	31
Imagen 15.- Ejemplo de EB alta capacidad 40W - Valdemadera	34
Imagen 16.- Ejemplo de EB baja capacidad 10W - Fayón	34
Imagen 17.- Cobertura global TETRA Zaragoza. Niveles de potencia	35
Imagen 18.- Cobertura global TETRA Zaragoza. Mejor servidor.....	36
Imagen 19.- Cobertura TETRA Zaragoza. Portátil 3W interiores en mano	37
Imagen 20.- Cobertura TETRA Zaragoza. Portátil 3W exteriores en cintura.....	37
Imagen 21.- Cobertura TETRA Zaragoza. Portátil 3W exteriores en mano.....	38
Imagen 22.- Cobertura TETRA Zaragoza. Móvil 10W	38
Imagen 23.- Red REPITA.....	43
Imagen 24.- Ejemplos de topología en anillo y en estrella	45
Imagen 25.- Topología de red IP	46
Imagen 26.- Esquema de la solución con gateways inteligentes	50
Imagen 27.- Esquema de la solución con gateways inteligentes para EB transportables	51
Imagen 28.- Gateway Sierra Wireless AirLink® GX440.....	52
Imagen 29.- Menú VRRP en software ALEOS® 4.3 embebido _[10]	53
Imagen 30.- Secuencia de activación del camino secundario.....	54
Imagen 31.- Nodo central (SCN). Arquitectura	63
Imagen 32.- Estación base de baja capacidad (MBS).....	63
Imagen 33.- Ejemplo de instalación de 2 MBS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Cálculos del factor de corrección estadístico [3]	23
Tabla 2.- Balance de potencias (Downlink)	24
Tabla 3.- Balance de potencias (Uplink)	25
Tabla 4.- Umbrales de cobertura	26
Tabla 5.- Niveles representados en las manchas de cobertura para la prueba de campo	27
Tabla 6.- Niveles representados en las manchas de cobertura	32
Tabla 7.- Listado de centros	33
Tabla 8.- Porcentaje de superficie cubierta	39
Tabla 9.- Tabla de asignación de canales	40
Tabla 10.- Enlaces de acceso adicionales a la red REPITA.....	42
Tabla 11.- Comparativa de velocidades máximas de datos	51
Tabla 12.- Cálculo del presupuesto	57

ÍNDICE DE SIGLAS

2G	Redes celulares de 2ª Generación	GPS	Global Positioning System
3G	Redes celulares de 3ª Generación	GRE	Generic Routing Encapsulation
6L	Banda 6 GHz baja	GRX	Ganancia de Antena de Recepción
6U	Banda 6 GHz alta	GSM	Global System for Mobile communications
AI	Air Interface	GTX	Ganancia de Antena de transmisión
AIR IF	Air Interface	h30	Huso 30
AST	Aragonesa de Servicios Telemáticos	HSPA+	High-Speed Packet Access (evolucionado)
BSR	Base Station Repeater	HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
C/I	Relación Portadora a Interferencia	HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
CABRX	Pérdidas Cable. Recepción	IP	Internet Protocol
CABTX	Pérdidas Cable. Transmisión	ISI	Inter System Interface
CAG	Control Automático de Ganancia	Kbps	Kilobits por segundo
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias	KHz	Kilohercio
CNC	Central Node Controller	Km	Kilómetro
CONRX	Pérdidas Conectores. Recepción	L	Ubicaciones
CONTX	Pérdidas de los Conectores	LAN	Local Area Network
CP	Control Physical channel	LOS	Line Of Sight
CPD	Centro de Procesado de Datos	LP	Pérdidas de Propagación Máximas Admitidas
dB	Decibelio	LS	Line Station
dBc	Decibelio respecto a la portadora	LSC	Local Site Controller
dBd	Decibelio respecto a un dipolo en $\lambda/2$	LTE	Long Term Evolution
dB _i	Decibelio respecto a una antena isotrópica	m	Metro
dBm	Decibelio respecto a 1 mW	Mbps	Megabits por segundo
DGA	Diputación General de Aragón	MBS	Mast-mount Base Station
DL	Downlink	MHz	Megahercio
DMO	Direct Mode Operation	MNI	Module for Networking Interconnection
DPQSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying	MUX	Pérdidas del Multiplexor
DPZ	Diputación Provincial de Zaragoza	mW	Milivatio
EB	Estación Base	NMS	Network Management Server
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	OPE	Otras Pérdidas
ED50	European Datum 1950	OSI	Open Systems Interconnection
EM	Estación Móvil	P	Potencia
ETS	European Telecommunication Standard	PC	Personal Computer
FCE	Factor de Corrección Estadístico	PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
FCR	Factor de Corrección por Ruido	PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
FDD	Frequency Division Duplexing	PLC	Programmable Logic Controller
FM	Frecuencia Modulada	PMR	Professional Mobile Radio
GFP	Generic Framing Procedure	PoE	Power over Ethernet
GHz	Gigahercio	PTC	Pérdidas con Terminal en Mano
GPRS	General Packet Radio Services	PTC	Pérdidas con Terminal en Interiores

PTM	Pérdidas con Terminal en Mano	TP	Traffic Physical channel
PTX	Potencia de Transmisión	Tx	Transmisor
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	U	Unidades
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados	UHF	Ultra High Frequency
REPITA	Red Pública de Infraestructuras de Telecomunicaciones de Aragón	UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
RF	Radiofrecuencia	UIT-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones-Radiocomunicaciones
RTC	Red Telefónica Conmutada	UM	Umbral de cobertura
Rx	Receptor	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
S	Sensibilidad	UL	Uplink
SBS	Site Base Station	UP	Unassigned Physical channel
SCN	Switching Control Node	UTM	Universal Transverse Mercator geographic coordinate system
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	V	Voltio
SIN	Site-Node Interface	V+D	Voz más Datos
SIS	Sistema de Interconexión de Segmentos	VHF	Very High Frequency
SMS	Short Message Service	VHO	Vertical Handover
SNMP	Simple Network Management Protocol	VLAN	Virtual Local Area Network
SSL	Secure Sockets Layer	VoIP	Voice over IP
T	Tiempo	VPN	Virtual Private Network
TCP	Transmission Control Protocol	VRRP	Virtual Router Redundancy Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access	W	Watio
TDT	Televisión Digital Terrestre	WAN	Wide Area Network
TEDS	TETRA Enhanced Data Service	WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
TEI	Terminal Equipment Interface	WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
TETRA	Terrestrial Trunked Radio	δ	Desviación Típica
TETRA2	TETRA release 2		
TETRAPOL	Terrestrial Trunked Radio communication for Police		
TN	Timeslot Number		

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente se están desarrollando en Aragón varios despliegues de redes de comunicaciones, destacando el que está realizando la Diputación General de Aragón (DGA) a través de entes públicos como Aragonesa de Servicios Telemáticos (AST) y de empresas públicas como Aragón Telecom. Entre estos proyectos se encuentra la llamada Red Pública de Infraestructuras de Telecomunicaciones de Aragón (REPITA), que constará en un futuro cercano de una red de transporte vía radio y fibra óptica para conectar diferentes emplazamientos y numerosas localidades. La parte de fibra, en una primera fase, va a enlazar las tres capitales de provincia y la parte de radio permitirá la suficiente capilaridad para llegar mediante radioenlace a la mayor parte del territorio aragonés.

Los centros planteados en la REPITA se han planificado, desde el primer momento, para que puedan ser utilizados para diferentes servicios a parte del propio transporte de datos. Entre ellos destaca la televisión digital terrestre (TDT), la banda ancha inalámbrica, la radio FM, la posibilidad de ampliación de la cobertura 2G y 3G de móviles y, por supuesto, la tecnología TETRA sugerida para la futura red de emergencias.

En Aragón, únicamente se ha desplegado red TETRA para las policías locales de Zaragoza y Calatayud y para las comunicaciones de la Confederación Hidrográfica del Ebro. El resto de Fuerzas de Seguridad del estado utiliza el sistema TETRAPOL gestionado por Telefónica en todo el territorio nacional. Otros servicios como los agentes forestales, de carreteras o ambulancias siguen utilizando tecnologías trunking analógicas tradicionales que no permiten la ampliación de más utilidades y cuya capacidad, tanto desde el punto de vista de la calidad como del aprovechamiento del espectro radioeléctrico, ha llegado a su límite.

En este sentido, este trabajo pretende realizar una planificación para el despliegue de una red TETRA en la provincia de Zaragoza, como fase inicial para cubrir todo el territorio autonómico, y que partirá de los centros y enlaces que ya están disponibles en la red REPITA de la Diputación General de Aragón. Para ello se expondrán los conceptos generales de la tecnología TETRA, se presentará la actual topología de la red REPITA de transporte y se mostrarán los cálculos realizados para cubrir la mayor parte de la provincia mediante esta tecnología. Además, se sugerirá cómo mejorar la fiabilidad de la red y reducir el coste, en términos de redundancia, mediante la incorporación de dispositivos que permitan el trasvase de la información a otras redes existentes como UMTS o LTE de los operadores de móviles.

Las redes TETRA desarrolladas para otros territorios o colectivos han permitido mejorar sustancialmente la fiabilidad de las comunicaciones entre los servicios de emergencia de la administración; destacando por su robustez, su seguridad, su capacidad de aprovechamiento del espectro radioeléctrico y por su calidad en las comunicaciones. Sin embargo, aunque ya se ha desplegado en numerosos lugares, sigue teniendo un elevado coste tanto en la implantación como en el mantenimiento. Se pretende dar una solución que dote a la provincia de un alto grado de cobertura, de manera fiable y cuyo coste no sea tan elevado como los desarrollos hasta ahora realizados.

Concretamente, este estudio incluye la posibilidad de utilizar otras redes existentes, como UMTS (3G) o la futura LTE, como backup cuando la infraestructura de la red REPITA pueda sufrir fallos o desconexiones, sin olvidarnos del abaratamiento que esto supone. No es posible todavía aventurarse a utilizar otras tecnologías que suplan a TETRA, debido principalmente, a la falta de concreción en cuanto a la utilización del espectro radioeléctrico en Europa y a la falta de equipamiento de red y terminales por parte de los fabricantes. Ambos aspectos incrementan enormemente, desde un principio, el presupuesto requerido para un despliegue completo comparándolo con el detallado a continuación.

2. RED TETRA

2.1. Tecnología TETRA

TETRA son las siglas de Terrestrial Trunked Radio. Fue definido en 1996 en el estándar ETR 300 y ampliado en 2005 por el ETSI TS 100 392 (en su release 2). Define un sistema de radio móvil para comunicaciones profesionales que aporta mayor privacidad y confidencialidad, más calidad de audio, mejora la velocidad de transmisión de datos, además de la capacidad de acceso a otras redes como Internet, la red RTC y la red GSM.

Surge como evolución a los sistemas profesionales de comunicación móvil vía radio analógicos, con la necesidad de soportar comunicaciones digitales en condiciones deficientes de cobertura o disponibilidad de recursos, ante múltiples fallos de red y ofreciendo siempre seguridad, rapidez y mayor calidad.

[7]TETRA define seis interfaces distintas en su arquitectura para asegurar la interoperabilidad entre terminales y redes de distintos fabricantes, la comunicación entre redes y su propia administración. Estos son:

- Interfaz aire (AI): proporciona la interoperabilidad de los terminales.
- Interfaz de estación de línea (LS): conecta interfaces de despacho de otros fabricantes.
- Inter system interface (ISI): permite la conectividad de redes TETRA de distintos fabricantes.
- Interfaz del equipo terminal (TEI): para el desarrollo independiente de aplicaciones de datos.
- Interfaz de administración de red: establece los parámetros de control, supervisión y configuración remotos.
- Interfaz aire para el modo directo (DMO): asegura la operación entre terminales en el modo directo.

La relación entre algunos de estos terminales se ilustra en la siguiente figura:

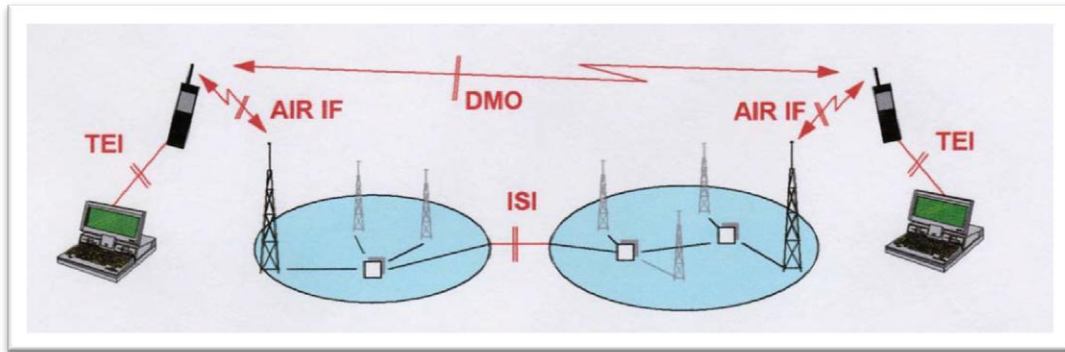


Imagen 1.- Interfaces TETRA

El sistema TETRA sigue el modelo OSI de siete capas. Para definir su interfaz radio, divide las tres primeras (capa física, capa de enlace de datos y capa de red) en subcapas que permiten la operación entre las estaciones base (EB) y las estaciones móviles (EM).

Como resumen de los recursos físicos empleados por TETRA, las EB operan en modo full dúplex frecuencial (uplink y downlink al mismo tiempo con frecuencias separadas). Las EM, por otro lado, pueden trabajar en modo full dúplex frecuencial y en modo half dúplex frecuencial dependiendo de su capacidad.

[4]Las modulaciones empleadas en el medio son:

- TETRA Release 1: solo $\pi/4$ -DQPSK. Modulación en fase que tolera una capacidad máxima de 28,8 Kbps sin codificación de canal (agrupando la capacidad de los 4 canales físicos de 7,2 Kbps de cada portadora).
- TETRA Release 2 (o TETRA2) (o TEDS [TETRA Enhanced Data Service]): $\pi/8$ -DQPSK modulación en fase y 4QAM, 16QAM o 64QAM, modulaciones de amplitud en cuadratura; permitiendo la última capacidades, en bruto, hasta 691,2 Kbps con canales de 150 KHz o de 115,2 Kbps con canales de 25 KHz.

Un canal de radiofrecuencia se define como una porción del espectro de radiofrecuencia (RF). En cada uno de ellos, TETRA va a utilizar la estructura de trama TDMA formada por 4 slots temporales por trama.

Cuando utiliza una modulación en fase (como el caso de la Release 1) el duplexado es FDD (frequency division multiplex). El downlink (DL) comprende los canales RF usados para la comunicación entre la EB y la EM. El uplink (UL), sin embargo, comprende los canales RF utilizados para la comunicación entre la EB y la EM.

En las modulaciones de amplitud en cuadratura también se emplea la estructura de trama TDMA, con la salvedad de que el acceso a los canales de RF es aleatorio además de permitir la agrupación de varios de ellos.

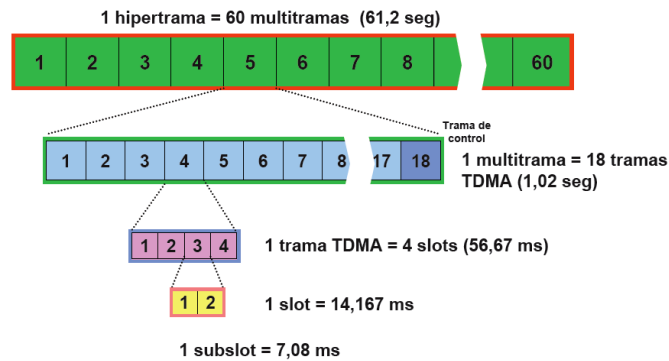


Imagen 2.- Estructura de trama TDMA

[7]El modo TETRA V+D (voz y datos) ha sido diseñado para trabajar en las bandas de frecuencia VHF y UHF (desde 150 MHz hasta los 900 MHz). Siguiendo la norma CNAF UN-28, en España, los servicios para los sistemas de seguridad públicos deben trabajar en la banda comprendida desde los 380 MHz a los 400 MHz. Esto comprende un total de 400 portadoras (uplink + downlink) espaciadas en 25 KHz.

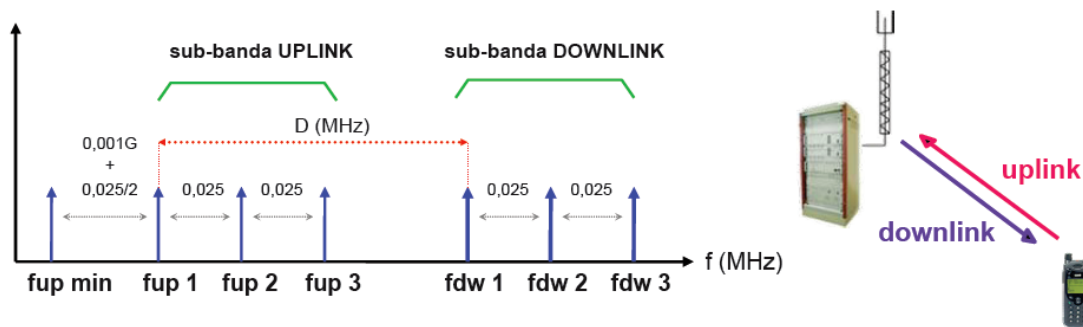


Imagen 3.- Duplexado FDD TETRA

Las portadoras superiores están reservadas para las redes nacionales de seguridad del estado, quedando las 200 portadoras inferiores para las redes de seguridad de organismos locales y autonómicos.

Adicionalmente otras bandas han sido también asignadas en España para trabajar con redes TETRA como la comprendida entre los 410 MHz y los 430 MHz.

Actualmente sólo se está utilizando el modo de voz y datos con modulación $\pi/4$ -DQPSK a 36 kbps con filtros conformadores del tipo coseno realizado con $\beta = 0,35$. El rechazo al canal adyacente es $> 60\text{dBc}$.



Imagen 4.- Comparativa de canales GSM / PMR / TETRA

Una vez descritos los recursos físicos de TETRA, es necesario introducir el concepto de canal físico. Está definido por un par de portadoras de radio frecuencia (uplink y downlink), y un número de timeslot (TN). Existen cuatro canales físicos por cada portadora y se definen según el tipo de información que contienen.

- Canal físico de control (CP).
- Canal físico de tráfico (TP).
- Canal físico no asignados (UP).

Un canal lógico, sin embargo, está definido por el tipo de información que se transmite entre la estación móvil y la red. Forma un camino de comunicación lógico entre dos o más partes. La información parte del nivel 3 de las capas OSI hasta quedar desmenuzada en los diferentes canales físicos presentes en la capa 1. Los canales lógicos son divididos en:

- Canal lógico de tráfico: llevan información de voz y datos con conmutación de circuitos.
- Canal lógico de control: llevan información de señalización, linealización, acceso, adquisición, etc. en modo paquete.

Para garantizar el alcance de la información transmitida, la potencia de los equipos móviles puede ser de 1; 1,8; 3 y 10W. La de las estaciones base está comprendida entre los 0,6 y los 40W según su tamaño, alcance o por el resultado calculado por el control automático de potencia (CAG) que utilizan la mayoría de ellas.

2.2. Modos de utilización y usos

[4][7] TETRA, en su release 1, establece tres clases de servicios, para cada uno de los cuales se define una interfaz aire distinta:

- Voice + Data (voz más datos), voz y transmisión de datos mediante conmutación de circuitos. (ETS 300 392)

- Optimización para paquetes de datos, mediante conmutación de paquetes. (ETS 300 393).
- Direct Mode Operation (DMO) u Operación en modo directo, que permite una transmisión simple de voz entre dos terminales móviles sin necesidad de red. Acepta dos llamadas DMO simultáneas en un solo canal físico. (ETS 300 396)

Los servicios de voz y datos de las redes TETRA están especialmente estandarizados para satisfacer los requerimientos de todas las administraciones de seguridad. Una instalación trunking TETRA escanea todos los canales radio y los asigna bajo demanda a cada usuario. También incluye la posibilidad de que los usuarios de los antiguos PMR analógicos no cambien su método de trabajo puesto que las mismas funcionalidades se encuentran en TETRA.

Adicionalmente, TETRA puede subdividir los servicios que presta en tres categorías que se superponen por encima de las clases citadas. Estas categorías son:

- Servicios de telecomunicaciones:
 - Llamadas individuales entre usuarios, bien de la red TETRA o de otras redes, como la RTC.
 - Llamadas de grupo, conectando a un usuario con un grupo de usuarios. Los grupos no tienen por qué ser fijos y pueden crearse y modificarse dinámicamente. Incluso puede configurarse la llamada de forma que los usuarios deban confirmar su recepción, lo que asegura que todos los miembros reciben la comunicación.
 - Llamadas de broadcast, usadas normalmente por el centro de control para alertar a todos los usuarios.
 - Llamadas de emergencia, donde la red de TETRA asigna alta prioridad y conexión rápida hacia un grupo o usuario.
 - Modo DMO, que permite la conexión entre dos terminales sin necesidad de red.
 - Canal Abierto, un servicio de comportamiento similar a las radios analógicas, donde cada participante puede hablar o escuchar libremente.
 - Inclusión en llamada, que permite a un usuario unirse a una llamada en grupo ya establecida.
- Servicios de transporte (bearer services):
 - Transmisión de estado de usuario, comparable a los mensajes de servicio, empleados para transmitir mensajes cortos predefinidos a la estación central.
 - Servicio de datos cortos, similar al SMS de GSM.
 - Servicios de datos conmutados por circuitos, con diferentes tasas en función de la seguridad: modo desprotegido (7,2 Kbps por timeslot), encriptado estándar (4,8 Kbps por timeslot) y encriptado fuerte (2,4 kbps por timeslot).

- Servicios de datos conmutados por paquetes, basados en TCP/IP (anteriormente también en X.25), con una tasa máxima de 28,8 Kbps.
- Servicios adicionales
 - Como prioridad o suscripción preferente de llamadas, escuchas discretas, llamada preferente, selección de área, autorización de llamada por un tercero, escucha ambiental, retención de llamada, llamada en espera, transferencia de llamada, etc.

TETRA se considera el estándar de las comunicaciones radio profesionales debido a la seguridad que ofrece. La definición del sistema especifica una serie de mecanismos de protección a lo largo de varios niveles del protocolo de comunicación radio. Algunas son:

- Autenticación multinivel, que asegura que los terminales que intentan acceder a la red están autorizados por la misma.
- Encriptado de la interfaz radio, que protege dicho canal entre el terminal móvil y la estación base.
- Direcciones alias, que permite la ocultación de los terminales implicados en una llamada para evitar su localización.
- Encriptado extremo a extremo.

2.3. Usuarios potenciales

Los futuros usuarios de la Red Tetra, en la provincia de Zaragoza, se pueden clasificar como 2 tipos:

- Internos del Gobierno de Aragón: Medio Ambiente, Protección Civil/112, Carreteras, Policía Autonómica y Salud.
- Externos al Gobierno de Aragón: Bomberos de la DPZ, Policías Locales y Servicio de Ambulancias contratados por el Salud.

En la actualidad, cada colectivo explota su propia red de repetidores en tecnología analógica PMR. Son sistemas de comunicaciones muy antiguos y obsoletos siendo su gestión cada día más complicada. Esto les resta tiempo de sus cometidos principales.

Entre todos los grupos mencionados anteriormente, se prevé un número inicial de suscriptores potenciales a TETRA del orden de 800 a 900 usuarios.

2.4. Futuro de TETRA

[15][17] Aunque con la versión actualizada de TETRA (release 2 o TEDS) se ha mejorado considerablemente la posibilidad de recibir y enviar datos, el futuro de TETRA va dirigido hacia la necesidad de mejorar la capacidad de datos hasta los niveles de la banda ancha. Servicios multimedia como las videollamadas o el intercambio de fotos y vídeos, cada vez son más demandados por los colectivos que lo utilizan.

Se barajan varias posibilidades que incluyen o la redacción de un nuevo estándar TETRA con capacidades de banda ancha o la creación de una interfaz TETRA para integrar otras tecnologías de banda ancha, como es el caso del LTE. Empresas como Alcatel-Lucent® ya están trabajando en la parte del backhaul u otras como Sepura® que están diseñando terminales híbridos para ambas tecnologías, aunque aún no han comercializado todavía ningún prototipo.

Este desarrollo dependerá de cómo y cuándo la administración competente diseñe la futura liberación del espacio radioeléctrico y cómo se definan las bandas de canales para poder utilizarlo.

3. PLANIFICACIÓN DE COBERTURA

Este punto del trabajo busca, como objetivo principal, cubrir la mayor parte del territorio de la provincia de Zaragoza con tecnología TETRA. Para ello, se va a utilizar la herramienta de cálculo radioeléctrico Sirenet® 3.6.0.0, con la que se simularán las áreas de cobertura necesarias para garantizar un 90% de superficie cubierta para terminales móviles.

Antes va a ser necesario realizar el balance de potencias en el trayecto descendente o downlink (estación base – estación móvil) y en el ascendente o uplink (estación móvil – estación base); y configurar la aplicación radioeléctrica para que realice los cálculos con el método de propagación más adecuado.

3.1. Método de cálculo

[1][2][9] Los métodos de cálculo permiten estimar la propagación de las ondas en el espacio mediante distintas metodologías. Básicamente, estos métodos pueden dividirse en determinísticos, empíricos y mixtos. Los determinísticos se basan en la teoría óptica geométrica y tienen en cuenta la difracción y la reflexión de los rayos sobre el terreno. Son muy acertados cuando se dispone de una cartografía adecuada. Los empíricos se basan en exhaustivas campañas de medidas con diferentes condiciones. Los mixtos están basados en los primeros pero con correcciones introducidas tras su estudio empírico.

Para este trabajo se ha utilizado el método determinístico UIT-R P.526-11 después de discutir su idoneidad tras realizar medidas en campo y comprobar su mejor adecuación con respecto a otros métodos como Deygout.

Se dispone también de una capa de altimetría con cuadrículas de 50m suficientemente precisa para el área a cubrir.

En general, los métodos UIT-R P.526, además de las pérdidas en el espacio libre, definen pérdidas adicionales debidas a la difracción de la señal en los diferentes obstáculos existentes entre el transmisor y el receptor. Se calculan de forma similar al método Deygout, pero cuya principal diferencia es que los subvanos generados no son calculados a partir del obstáculo dominante sino que se van solapando tras el análisis consecutivo de los obstáculos intermedios.

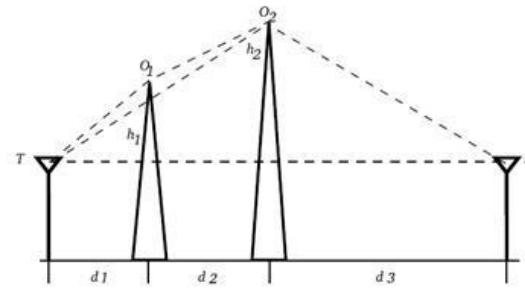


Imagen 5.- Ejemplo de cálculo Deygout con 2 aristas

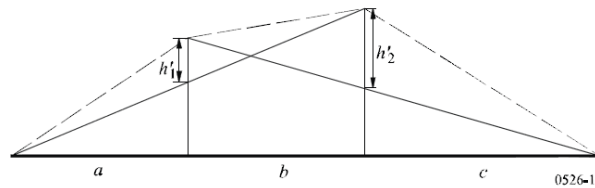


Imagen 6.- Ejemplo de cálculo UIT P.526

La recomendación UIT-R 526.11 puede además analizar el perfil radioeléctrico para determinar el método más eficaz en la estimación de la propagación suponiendo los siguientes tipos: tierra esférica o redondeada, perfil con obstáculos redondeados y perfil con obstáculos en filo de cuchillo.

Como principal aplicación, está indicado para entornos donde dominan obstáculos determinísticos, como es el caso de enlaces de microondas punto a punto, punto a multipunto, accesos rurales o radiodifusión rural. Tiene la desventaja de que pierde fiabilidad en distancias superiores a 70 Km donde comienza a ser aconsejable el empleo de métodos de dispersión troposférica. Las coberturas de los nodos de difusión TETRA no se aconseja que sean superiores a los 54 Km de radio, por lo que no será necesario emplear otro método.

En el caso de la provincia de Zaragoza, la mayoría del terreno se puede considerar como tierra redondeada. Los obstáculos suelen no presentar aristas muy marcadas predominando las colinas de pendiente suave, las muelas y barrancos con descensos no muy pronunciados en distancias cortas. Sin embargo, en las áreas próximas al Moncayo, las altas Cinco Villas y los meandros del Ebro medio se pueden presentar obstáculos más pronunciados.

Ante la posibilidad de calcular la cobertura con distintos métodos se realizó una prueba de campo para evidenciar qué método es el más adecuado entre Deygout, UIT P.526-11 con perfil de tierra redondeada o UIT P.526-11 con perfil de filo de cuchillo. Esta prueba de campo se detallará en el punto 3.3.

3.2. Balance de Potencias

Siempre que se necesita simular una determinada cobertura de radio es necesario calcular previamente el balance de potencias de los trayectos que intervienen en la comunicación. Para ello se estudian las ganancias y pérdidas de todos los elementos en cada sentido de la comunicación y se elige el más restrictivo para asegurar la mayor cobertura.

En este caso, se han empleado tanto estaciones base como estaciones móviles del fabricante local Teltronic®. Dependiendo del centro seleccionado y del área cubierta por cada uno, se utilizarán estaciones base de alta capacidad o de baja capacidad. Los terminales podrán ser móviles incorporados en los vehículos o portátiles de mano de clase A.

Este balance de potencia está basado en los siguientes datos de partida. La instalación recomendada por el fabricante Teltronic® más adecuada para las estaciones base de alta capacidad (Anexo 2), consiste en una antena omnidireccional emisora y tres paneles de 120° de apertura de haz. El cable empleado es coaxial de 7/8" y cada portadora de la estación base se introduce en la línea de transmisión mediante un multiplexor de 4 cavidades. En el caso de las estaciones de baja capacidad se emplea una antena omnidireccional para emitir y otra para recibir. El cable utilizado es coaxial de 1/2". Únicamente admite combinar 2 portadoras.

- Estaciones base
 - Potencia de la Estación Base de alta capacidad: 40 W (46,02 dBm).
 - Potencia de la Estación Base de baja capacidad: 10 W (40 dBm).
 - Ganancia de las antenas de la Estación Base de alta capacidad: Se trata de una antena omnidireccional con 7,5 dBi de ganancia en transmisión y tres antenas de tipo panel modelo KATHREIN 739506 de 11,5 dBi de ganancia en recepción.
 - Ganancia de las antenas de la Estación Base de baja capacidad: Se trata de una antena omnidireccional KATHREIN K751631 con 7,5 dBi de ganancia en transmisión y en recepción.
 - Sistema multiplexor (combinador): Se considera un filtro de cavidades de 4 portadoras con pérdidas estimadas de 2,5 dB.
 - Pérdidas del Cable Coaxial: se considera un tipo de cable coaxial RFS CELLFLEX de 7/8" con pérdidas estimadas de 2,54 dB/100m para 400 MHz. Consideramos el peor caso con 50m de longitud de cable (1,27 dB de pérdida). En el caso de las estaciones de baja capacidad el cable utilizado es RFS CELLFLEX de 1/2" con pérdidas estimadas de 6,6 dB/100m (1,32 dB para 20m).
 - Otras pérdidas: se consideran pérdidas adicionales debidas al sensor de potencia, conectores, sondas etc. de 1,5 dB.

- Estaciones móviles
 - Ganancia de las antenas de los terminales: Para las antenas de los terminales móviles instalados en vehículos se considera una antena de ganancia 2,15 dBi (0 dBd) y a una altura de 1,5 m.

- Ganancia de las antenas de los terminales: Para las antenas de los terminales móviles instalados en vehículos se considera una antena de ganancia 0 dBi.
 - Cable coaxial del terminal móvil: se consideran aproximadamente 6 metros de longitud de cable RG-223 con unas pérdidas asociadas de 29,3 dB/100 m (1,75dB).
 - Potencia de salida del terminal móvil: Se considera una potencia de salida de 10 W (40 dBm).
 - Potencia de salida del terminal portátil: Se considera una potencia de salida de 3 W (34,77 dBm).
- Sensibilidad: la sensibilidad real indicada por Teltronic® en sus terminales está alrededor de los -119 dBm en condiciones estáticas y de los -112 dBm para la sensibilidad dinámica. Sin embargo, en este estudio, se han utilizado los valores de sensibilidad dinámica (-106 dBm) y estática (-103 dBm) contemplados en la norma, para mayor seguridad. Por esta razón, para las estaciones móviles se va a considerar una sensibilidad dinámica de -103 dBm y para las estaciones base, una sensibilidad estática de -106 dBm.
 - Frecuencia: Se considera un valor de frecuencia media de 400 MHz.
 - Modo de uso: se contemplan pérdidas según el uso para terminal en mano (PTM)=5dB, en cintura (PTC)=12dB, interiores en mano (PTI)=15 dB.
 - Factor de corrección por ruido/multitrayecto (FCR): no se ha tenido en cuenta. Se considera que el efecto de la perturbación es casi nulo.
 - Factor de corrección estadístico (FCE): atenuación de 13,21 dB, según normativa UIT-R 567 para garantizar estadísticamente una calidad de cobertura en el 95% de las ubicaciones (L) durante el 95% del tiempo (T), en el perímetro de la cobertura.

Valores K(P) [dB]	
P(%)	K (P)
50	0,00
75	0,67
90	1,28
95	1,64

δ [dB] desv. típica según entorno. UIT-R P.1145		
Banda frecuencia	δ_L (dB)	δ_T (dB)
VHF (150-200 MHz)	8	3(Tierra y mar)
UHF (450-900 MHz)	10	2 (Tierra)
		9 (Mar)
GSM (900 MHz)	7	

Factor de corrección estadístico [FCE]	
KT	1,64
KL	1,28
δ_T	2
δ_L	10
FCE	13,21

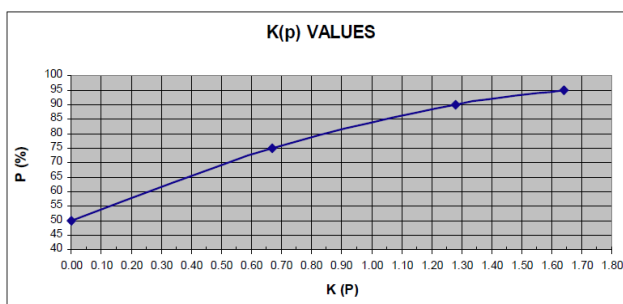


Tabla 1.- Cálculos del factor de corrección estadístico [3]

- Márgenes de fading adicionales: no se han tenido en cuenta.

3.2.1. Cálculo del enlace descendente (DOWNLINK)

La siguiente tabla muestra los cálculos realizados para obtener las máximas pérdidas admisibles, en el enlace descendente para cada tipo de estación base (de alta o baja capacidad) con los terminales móviles del fabricante Teltronic® (móvil de 10W y portátil de 3W).

TRANSMISOR [EB]	Alta capacidad		Baja capacidad	
Potencia de transmisión (PTX)	46,02	dBm	40,00	dBm
Pérdidas Multiplexor (MUX)	2,50	dB	2,50	dB
Pérdidas cable (CABTX) ≈50m	1,27	dB (≈50m 7/8')	1,32	dB(≈20m 1/2')
Pérdidas conectores (CONTX)	1,00	dB	1,00	dB
Ganancia Antena Tx (GTX)	7,50	dBi	7,50	dBi
Otras pérdidas (OPE)	0,50	dB	0,50	dB
PIRE EB [PIRE=PTX-MUX-CABTX-CONTX+GTX-OPE]	48,25	dBm	42,18	dBm

Factor corrección estadístico (FCE)	13,21	dB	13,21	dB
-------------------------------------	-------	----	-------	----

RECEPTOR (MÓVIL 10W) [EM]				
Pérdidas cable y conectores (CABRX)	1,76	dB	1,76	dB
Ganancia Antena Rx (GRX)	2,15	dBi	2,15	dBi
Sensibilidad dinámica (S)	-103,00	dBm	-103,00	dBm

RECEPTOR (PORTÁTIL 3W) [EM]				
Ganancia Antena Rx (GRX)	0,00	dBi	0,00	dBi
Sensibilidad dinámica (S)	-103,00	dBm	-103,00	dBm
Pérdidas cuerpo terminal en mano (PTM)	5,00	dB	5,00	dB
Pérdidas cuerpo terminal en cintura (PTC)	12,00	dB	12,00	dB
Pérdidas cuerpo terminal en interiores (PTI)	15,00	dB	15,00	dB

Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-FCE-CABRX+GRX-S] (móvil)	138,43	dB	132,36	dB
Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-FCE+GRX-S-PTM] (por. mano)	133,04	dB	126,97	dB
Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-FCE+GRX-S-PTM] (por. cintura)	126,04	dB	119,97	dB
Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-FCE+GRX-S-PTM] (por. interiores)	123,04	dB	116,97	dB

Tabla 2.- Balance de potencias (Downlink)

Los resultados marcados en naranja se corresponden con los valores más restrictivos para cada uno de los casos estudiados.

3.2.2. Cálculo del enlace ascendente (UPLINK)

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el enlace ascendente.

TRANSMISOR (MÓVIL 10W) [EM]				
Potencia de transmisión (PTX)	40,00	dBm	40,00	dBm
Pérdidas cable y conectores (CABTX)	1,76	dB	1,76	dB
Ganancia Antena Tx (GTX)	2,15	dBi	2,15	dBi
PIRE EM [PIRE=PTX-CABTX+GTX]	40,39	dBm	40,39	dBm

TRANSMISOR (PORTÁTIL 3W) [EM]				
Potencia de transmisión (PTX)	34,77	dBm	34,77	dBm
Ganancia Antena Tx (GTX)	0,00	dBi	0,00	dBi
PIRE EM [PIRE=PTX+GTX]	34,77	dBm	34,77	dBm
Pérdidas cuerpo terminal en mano (PTM)	5,00	dB	5,00	dB
Pérdidas cuerpo terminal en cintura (PTC)	12,00	dB	12,00	dB
Pérdidas cuerpo terminal en interiores (PTI)	15,00	dB	15,00	dB

Factor corrección estadístico (FCE)	13,21	dB	13,21	dB
-------------------------------------	-------	----	-------	----

RECEPTOR [EB]	Alta capacidad		Baja capacidad	
Ganancia Antena Rx (GRX)	11,50	dBi	7,50	dBi
Pérdidas cable (CABRX) ≈50m	1,27	dB (≈50m 7/8')	1,32	dB (≈20m 1/2')
Pérdidas conectores (CONRX)	1,00	dB	1,00	dB
Otras pérdidas (OPE)	0,50	dB	0,50	dB
Sensibilidad estática (S)	-106,00	dBm	-106,00	dBm

Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-FCE+GRX-MUX-CABX-CONRX-OPE-S] (móvil)	141,91	dB	137,86	dB
Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-PTM-FCE+GRX-MUX-CABX-CONRX-OPE-S] (por. mano)	131,29	dB	127,24	dB
Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-PTC-FCE+GRX-MUX-CABX-CONRX-OPE-S] (por. cintura)	124,29	dB	120,24	dB
Pérdidas Propagación Máximas Admitidas [LP=PIRE-PTI-FCE+GRX-MUX-CABX-CONRX-OPE-S] (por. interiores)	121,29	dB	117,24	dB

Tabla 3.- Balance de potencias (Uplink)

Los resultados marcados en naranja se corresponden con los valores más restrictivos para cada uno de los casos estudiados.

3.2.3. Umbrales de cobertura

Para poder representar la cobertura de cada tipo de terminal y situación, en la misma mancha, necesitamos representar los umbrales de potencia que admita cada uno de ellos. Estos umbrales se calculan restando las pérdidas máximas de propagación del enlace más restrictivo (obtenidos en los pasos anteriores) a la PIRE de la estación base como transmisor.

UMBRALES EB ALTA CAPACIDAD							
■	Umbral Portátil 3W en interiores [UM=PIRE-LP (uplink)]	48,25	dBm	121,29	dB	-73,04	dBm
■	Umbral Portátil 3W en cintura [UM=PIRE-LP (uplink)]	48,25	dBm	124,29	dB	-76,04	dBm
■	Umbral Portátil 3W en mano [UM=PIRE-LP (uplink)]	48,25	dBm	131,29	dB	-83,04	dBm
■	Umbral Móvil 10W [UM=PIRE-LP (downlink)]	48,25	dBm	138,43	dB	-90,18	dBm

UMBRALES EB BAJA CAPACIDAD							
■	Umbral Portátil 3W en interiores [UM=PIRE-LP (downlink)]	42,18	dBm	116,97	dB	-74,79	dBm
■	Umbral Portátil 3W en cintura [UM=PIRE-LP (downlink)]	42,18	dBm	119,97	dB	-77,79	dBm
■	Umbral Portátil 3W en mano [UM=PIRE-LP (downlink)]	42,18	dBm	126,97	dB	-84,79	dBm
■	Umbral Móvil 10W [UM=PIRE-LP (downlink)]	42,18	dBm	132,36	dB	-90,18	dBm

Tabla 4.- Umbrales de cobertura

Se puede observar que se obtienen para ambos tipos de estaciones base unos resultados muy similares, por lo que servirán para representar el mismo escenario de cobertura.

3.3. Prueba de Campo. Valdemadera

Para aumentar la seguridad en la elección del método de cálculo elegido (UIT-R 526.11 con obstáculos redondeados) y de comprobar la veracidad de las representaciones, se ha realizado una prueba de campo desde un centro de la red REPITA.

Aragón Telecom, en colaboración con Teltronic®, procedieron a instalar a finales de 2011, una estación base de alta capacidad completa, con una única portadora autorizada para realizar una prueba veraz. La estación base ubicada presenta los elementos y características indicados en el punto anterior.

El lugar elegido es el centro troncal de Valdemadera, situado en el monte del mismo nombre y perteneciente al término municipal de Codos (Zaragoza), donde el Gobierno de Aragón dispone de un emplazamiento con torre troncopiramidal de 50m y caseta de 50m².

Los paneles de recepción se instalaron a una altura aproximada de 40m guardando 120° en el plano horizontal y la antena omnidireccional emisora se ubicó 2λ metros por debajo, según especificación del fabricante.

El centro de Valdemadera fue el elegido para realizar la prueba porque presenta varios beneficios destacables con respecto a otros centros:

- Cercanía a Zaragoza. Se encuentra a unos 65 Km del centro de Zaragoza.
- Centro troncal. Las características del centro hacen que se puedan instalar, sin ninguna dificultad, los elementos requeridos por una estación base de alta capacidad tanto en torre como en caseta.

- Cobertura prevista. El área que cubre este centro es muy variada, con zonas irregulares como la Sierra de Vicor, zonas de depresión como el valle del Ebro o el Huerva y áreas de planicie como el campo de Cariñena. Esta característica ha permitido comprobar el acierto de la simulación y el alcance de la tecnología TETRA.

Previamente se realizaron las primeras simulaciones con la aplicación Sirenet® 3.6.0.0, con los niveles elegidos y los parámetros que modelan la estación base. Se generaron dos coberturas individuales diferentes para comprobar la idoneidad del método de cálculo elegido, entre Deygout y UIT P.526-11 con obstáculos redondeados. La capa de altimetría disponible tiene una precisión de 50m por cuadrícula.

Para la prueba de campo se realizó un drive test con una aplicación propietaria de Teltronic® que recoge el nivel de potencia recibido a intervalos específicos. En este caso se tomaron muestras cada 2 segundos durante las rutas realizadas. Para la correcta comprobación se recorrieron carreteras en torno al centro de Valdemadera para recoger muestras en todas las direcciones.

Durante el drive test, se realizó la prueba de campo con el terminal móvil de Teltronic® MDT-400 instalado en un vehículo junto al software de captura de datos y geoposicionamiento. Por este motivo, la representación de los niveles en la mancha de cobertura presenta degradados a partir del umbral calculado para el equipo móvil de 10W (en torno a -90 dBm). Además, se tomaron medidas manuales con el equipo portátil Teltronic® HTT-500 de 3W, cuyo umbral se encuentra en torno a los -85 dBm. De esta manera se puede observar de forma clara y visual las áreas sin cobertura o dónde empieza a degradarse.

	-85 <= P [dBm]
	-85 <= P < -90 [dBm]
	-90 <= P < -92 [dBm]
	-92 <= P < -95 [dBm]

Tabla 5.- Niveles representados en las manchas de cobertura para la prueba de campo

Se comprobó que en las áreas naranjas el equipo portátil dejaba de comunicarse y superando el área roja el equipo móvil se comportaba de forma similar. Las muestras en negro se corresponden con zonas de sombra donde no es posible que los terminales establezcan la comunicación.

A continuación se muestran algunos detalles de la cobertura exportada a Google Earth® junto a las muestras tomadas con el drive test de Teltronic®.

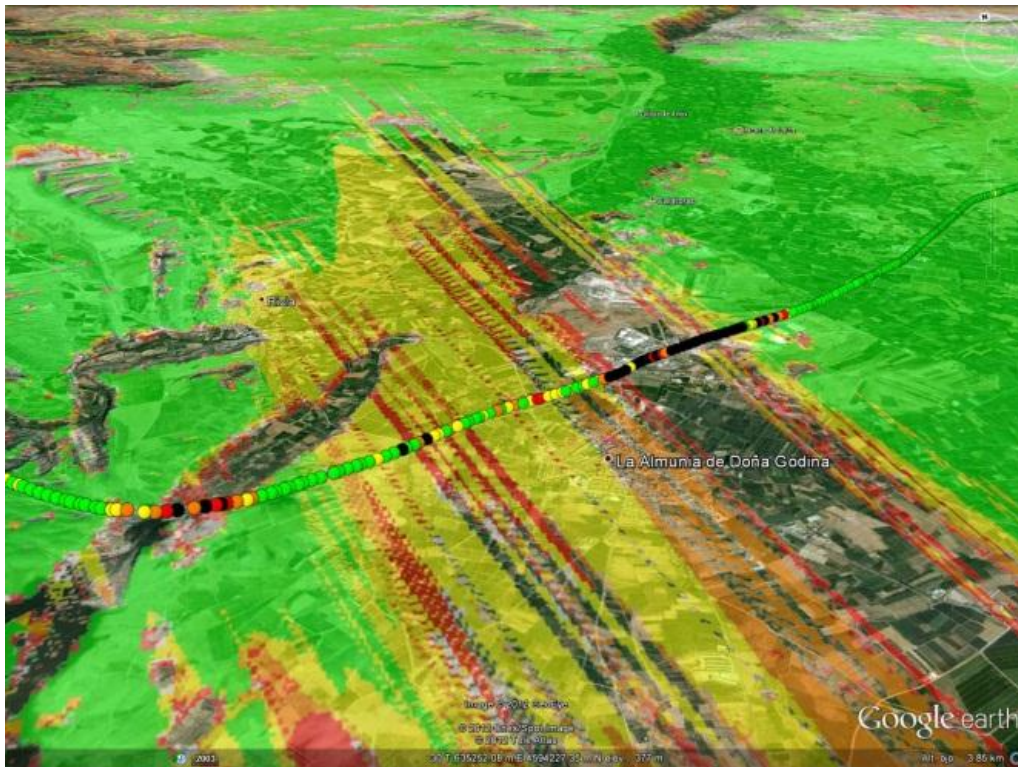


Imagen 7.- Área de La Almunia de D^a Godina. UIT P.526-11

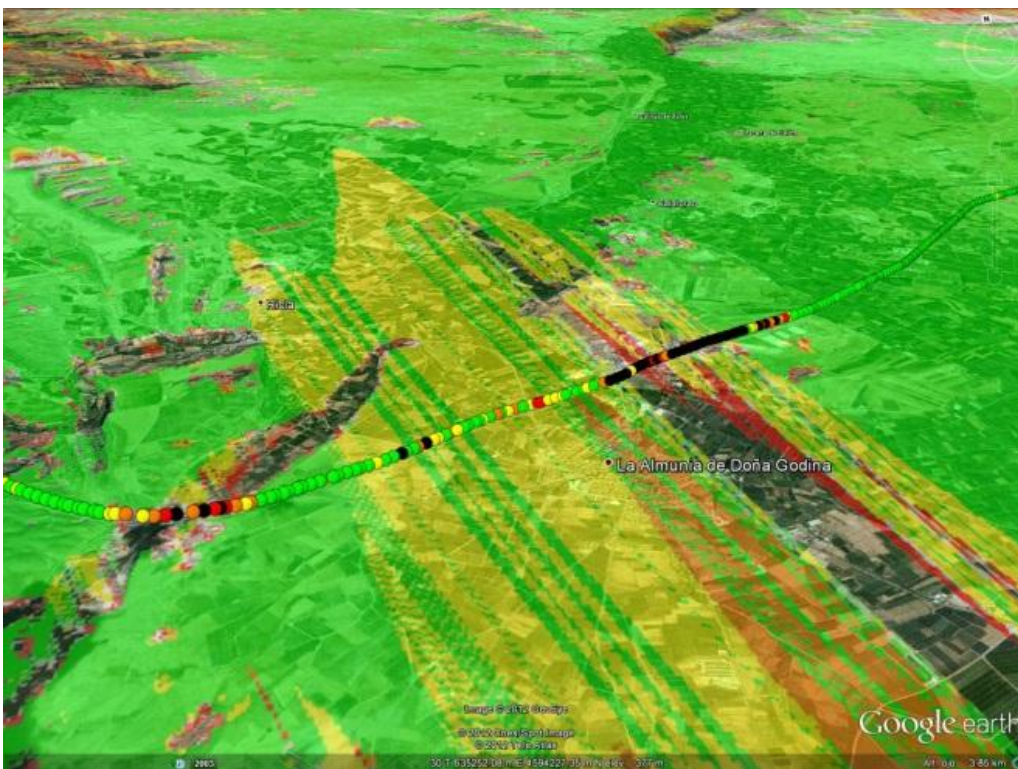


Imagen 8.- Área de La Almunia de D^a Godina. Deygout

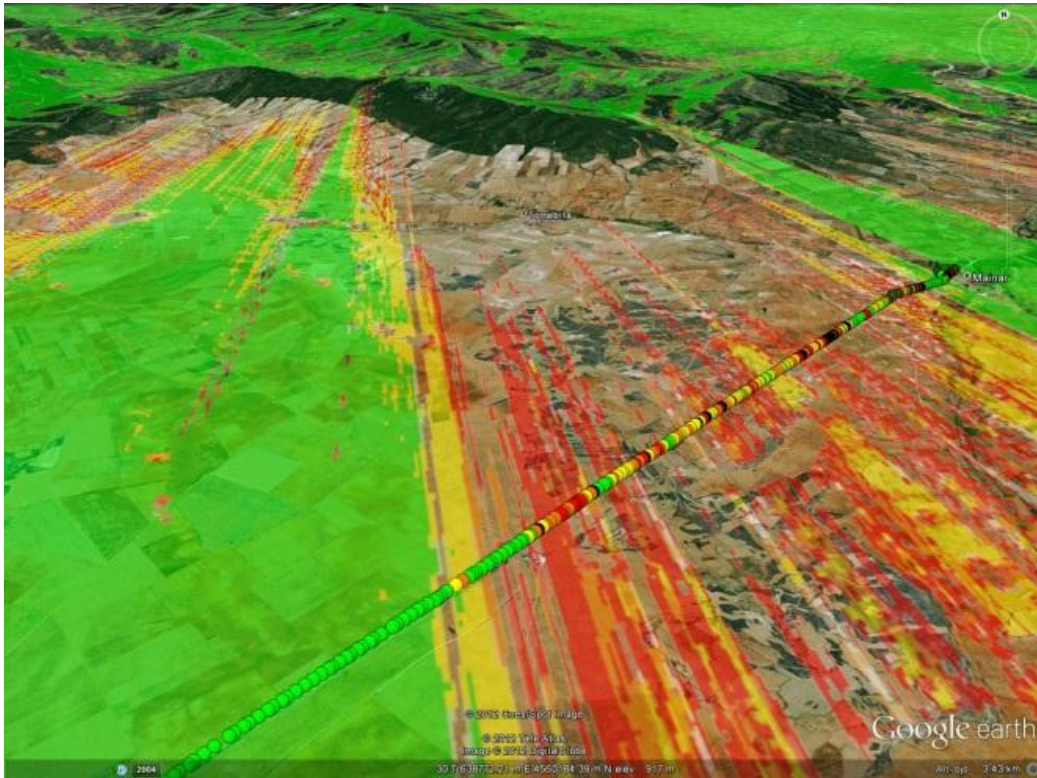


Imagen 9.- Área de Mainer. UIT P.526-11

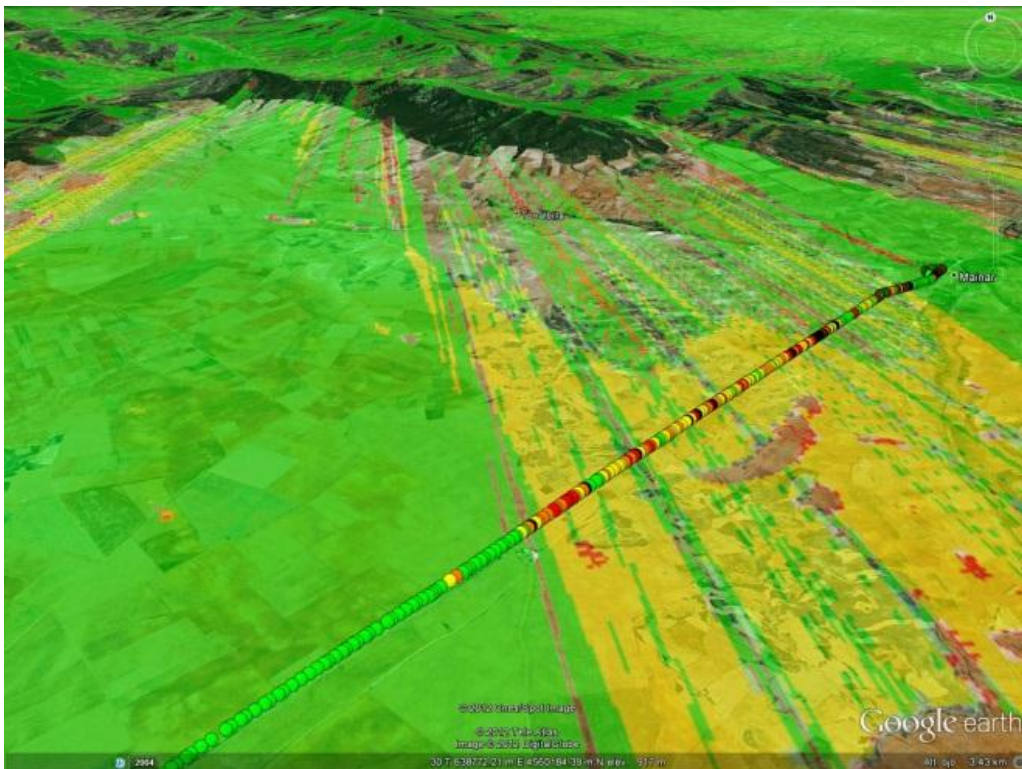


Imagen 10.- Área de Mainer. Deygout

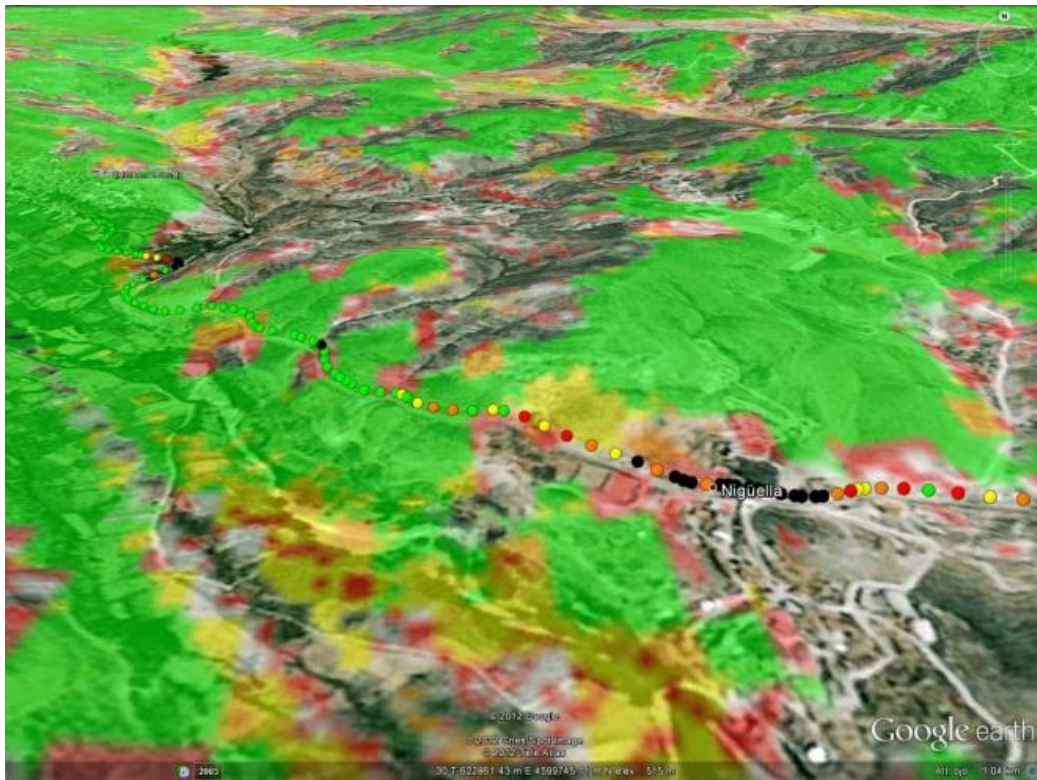


Imagen 11.- Área de Nigüella. UIT P.526-11

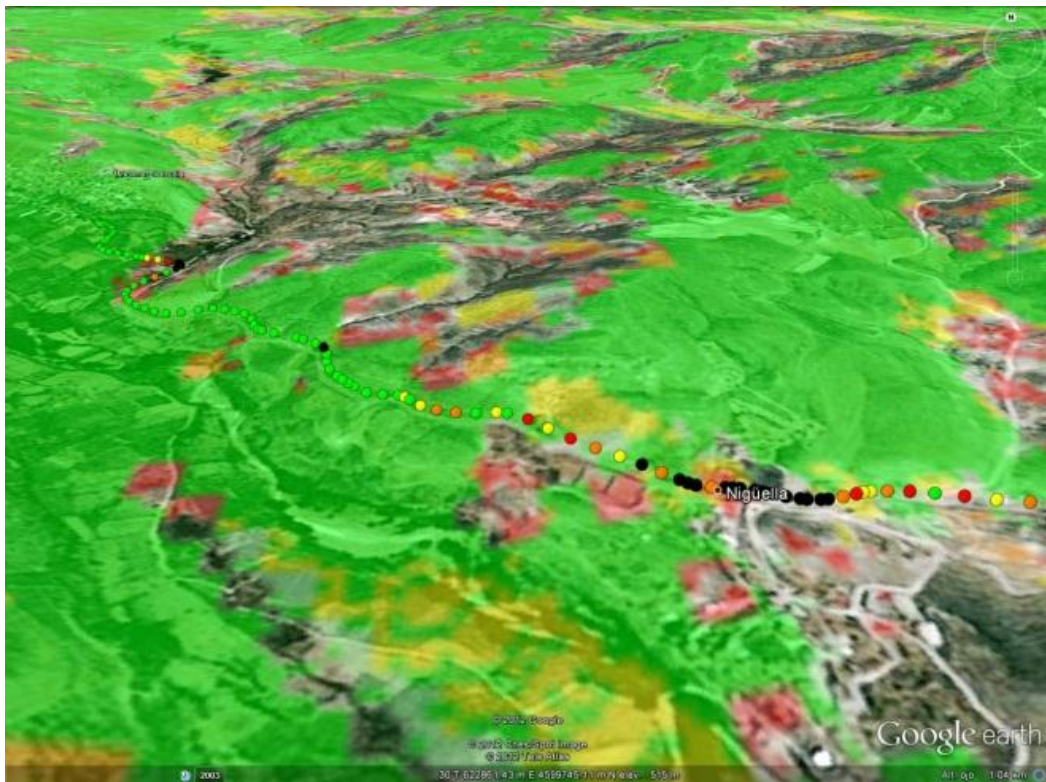


Imagen 12.- Área de Nigüella. Deygout

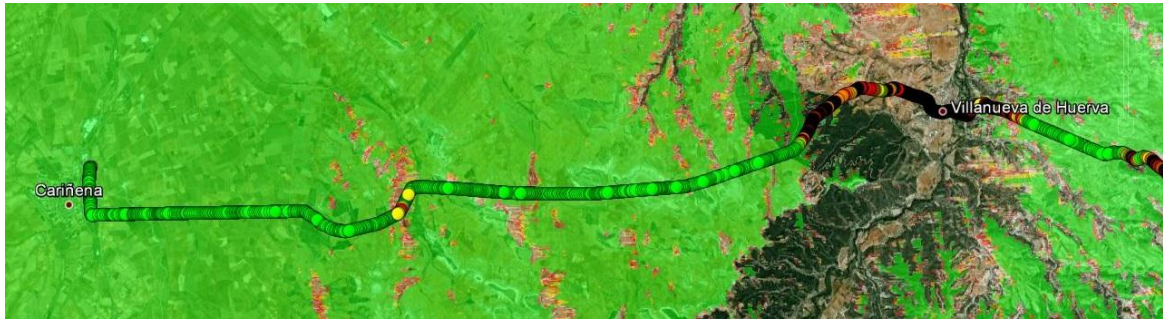


Imagen 13.- Ruta de Cariñena a Villanueva de Huerva. UIT P.526-11



Imagen 14.- Ruta de Cariñena a Villanueva de Huerva. Deygout

Observando algunas de las rutas realizadas se puede destacar, en líneas generales, que el modelo UIT-R P.526-11 se acerca más a la realidad debido a que el modelo Deygout es habitualmente más optimista. Así ha sucedido, de igual manera, en las medidas estáticas tomadas a mano. Como apreciación, únicamente parece comportarse mejor el modelo Deygout cuando el obstáculo está más alejado de la fuente (caso de La Almunia) que cuando está más cercano (caso de Mainar), donde el modelo UIT-R P.526-11 se adapta de forma más acertada.

También hay que destacar la mayor rapidez en el cálculo. La misma mancha de cobertura, con el mismo programa de simulación, se realiza de forma más rápida con UIT P.526-11 que con Deygout.

3.4. Cálculo de coberturas

Una vez realizado el balance de potencias y los márgenes de representación, se procede a realizar el estudio de cobertura de la zona de estudio. Para ello se ha utilizado la herramienta de Aptica, Sirenet® 3.6.0.0, que permite facilitar la planificación y gestión de redes radio.

En primer lugar, se realizarán los estudios de cobertura individuales que se crean convenientes para cubrir más del 90% de la provincia de Zaragoza. Los datos de la estación base necesarios para la simulación, así como la representación de los diagramas de radiación, se han introducido previamente para la elaboración de los estudios.

El método de cálculo empleado, como ya se ha indicado anteriormente, es el UIT-R P.526-11 con representación de obstáculos redondeados, con capa de altimetría de resolución 50m y sin introducir pérdidas adicionales por elementos atmosféricos.

Los niveles representados ahora son los calculados en el balance de potencias y correspondientes a cada una de las situaciones de interés.

	Portátil 3W interiores mano	-73,04 <= P [dBm]
	Portátil 3W ext. en cintura	-76,04 <= P < -73,04 [dBm]
	Portátil 3W ext. en mano	-83,04 <= P < -76,04 [dBm]
	Móvil 10W	-90,18 <= P < -83,04 [dBm]

Tabla 6.- Niveles representados en las manchas de cobertura

3.4.1. Coberturas individuales

Tras un análisis exhaustivo de los centros de la REPITA y de otros emplazamientos de la red de acceso, se han elegido los que aparecen en la siguiente tabla formada por 35 centros. Además, se ha propuesto el tipo de estación base que se deberá incorporar según las capacidades del centro y/o el área potencialmente cubierta.

Centro	Tipo EB	Coordenadas UTM h30 ED50		
		X	Y	Z
Alhama de Aragón	Alta capacidad	593383	4573132	873
Almolda, la	Alta capacidad	732639	4604819	586
Atalaya	Alta capacidad	603399	4571607	943
Brea de Aragón	Baja capacidad	615790	4597520	767
Carrascas	Alta capacidad	768175	4580504	399
Caspe	Alta capacidad	745810	4570064	226
Daroca	Baja capacidad	632995	4553298	925
Ejea de los Caballeros (Sabinar, el)	Alta capacidad	643100	4659826	490
Fabara	Alta capacidad	766177	4563817	297
Fayón	Baja capacidad	781015	4571268	259
Fragal, el	Alta capacidad	667077	4681808	848
Grisel	Alta capacidad	605774	4635619	795
Herrera de los Navarros	Alta capacidad	658977	4559447	1332
Juslibol	Alta capacidad	674751	4618785	310
Lobo	Alta capacidad	687233	4571754	625

Mequinenza	Alta capacidad	775632	4587708	408
Misericordia	Baja capacidad	618282	4635044	722
Monlora	Alta capacidad	671899	4666610	657
Monte Oscuro	Alta capacidad	704187	4623356	824
Muela, la	Alta capacidad	658511	4606248	568
Nonaspe	Baja capacidad	774728	4567128	312
Puebla de Albortón	Baja capacidad	679756	4589305	697
Purujosa	Baja capacidad	602474	4614931	1104
Puy Moné	Baja capacidad	665661	4697593	1301
Santa Cruz	Alta capacidad	620543	4552661	1423
Santa Eulalia de Gállego	Baja capacidad	683751	4683853	702
Sarda, la	Alta capacidad	661013	4708142	997
Sástago	Alta capacidad	723698	4578498	234
Sediles	Alta capacidad	626018	4581063	1370
Sos del Rey Católico	Alta capacidad	645372	4704359	949
Tabuena	Alta capacidad	623135	4618549	878
Uncastillo	Baja capacidad	654095	4690424	753
Valdemadera	Alta capacidad	638456	4576933	1255
Villarreal de Huerva	Baja capacidad	647522	4563255	1175
Virgen de la Sierra	Alta capacidad	604989	4599580	1408

Tabla 7.- Listado de centros

A estos emplazamientos habría que sumar un nodo adicional a las ciudades de alrededor de 10.000 habitantes cuya densidad y servicios requieren mejorar la capacidad y la cobertura en interiores. Estas ciudades son Ejea de los Caballeros, Tarazona y Utebo; puesto que Zaragoza y Calatayud ya cuentan con redes TETRA municipales propias y podrían incorporarse a la red global, para mejorar la eficiencia espectral y los costes de extensión y explotación. En el caso de Caspe no se contempla ya que el centro propuesto está junto a la localidad y no precisaría de uno adicional.

A continuación, se muestran dos ejemplos de coberturas individuales, el primero de una estación base de alta capacidad y el segundo de una de baja capacidad. Las configuraciones de ambas estaciones base se pueden consultar con más detalle en el Anexo 1.

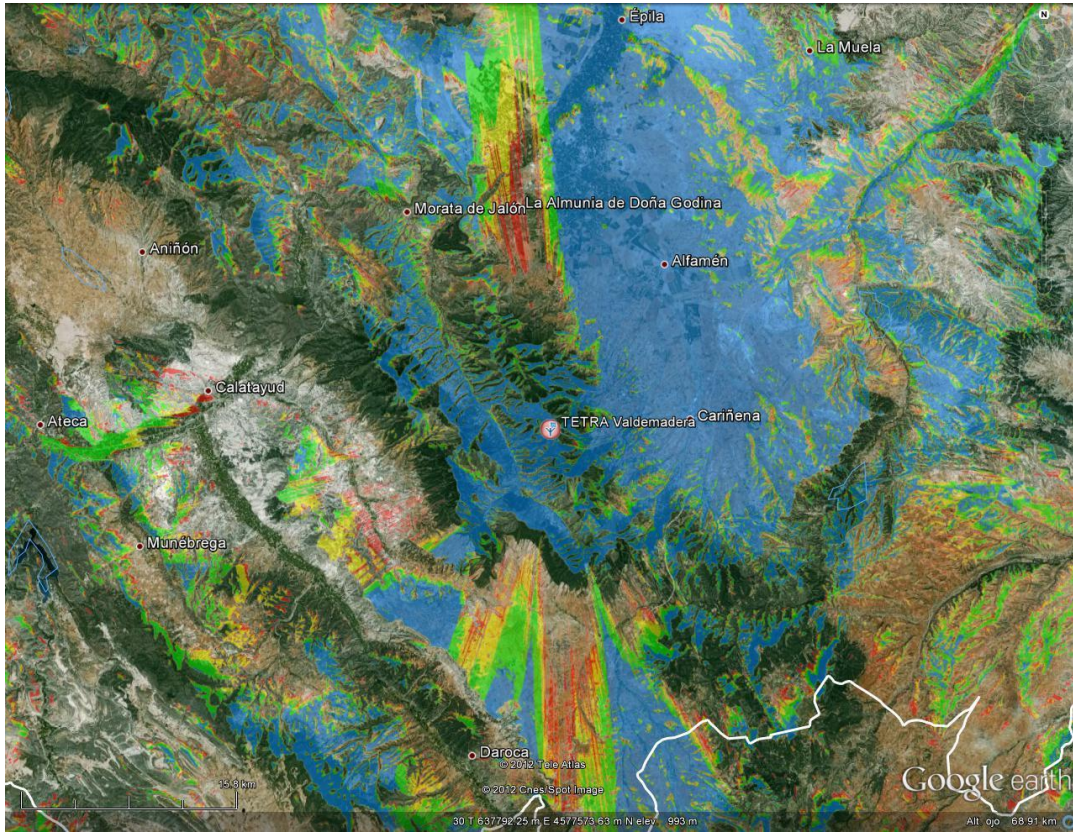


Imagen 15.- Ejemplo de EB alta capacidad 40W - Valdemadera

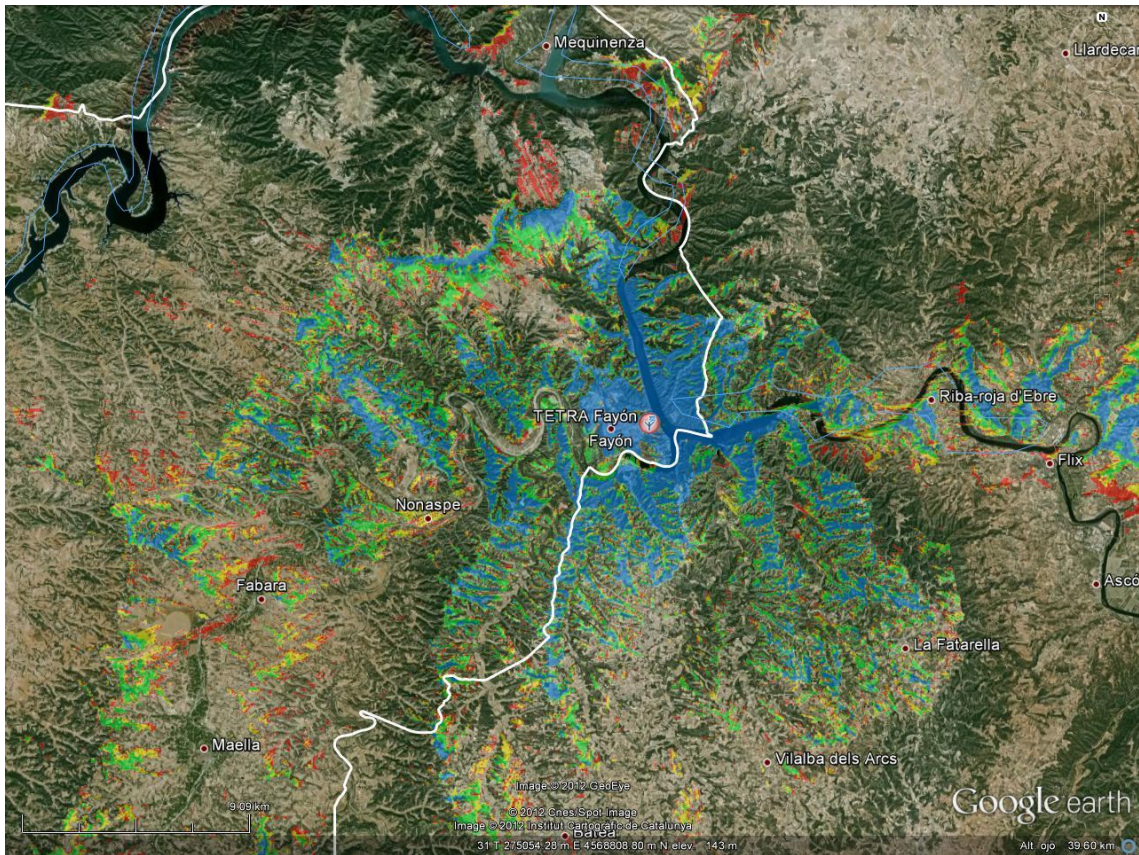


Imagen 16.- Ejemplo de EB baja capacidad 10W - Fayón

3.4.2. Cobertura global

En este apartado, se refleja el resultado obtenido en el conjunto de la provincia de Zaragoza, por niveles de potencia y por áreas de mejor servidor (mejor nivel de potencia).

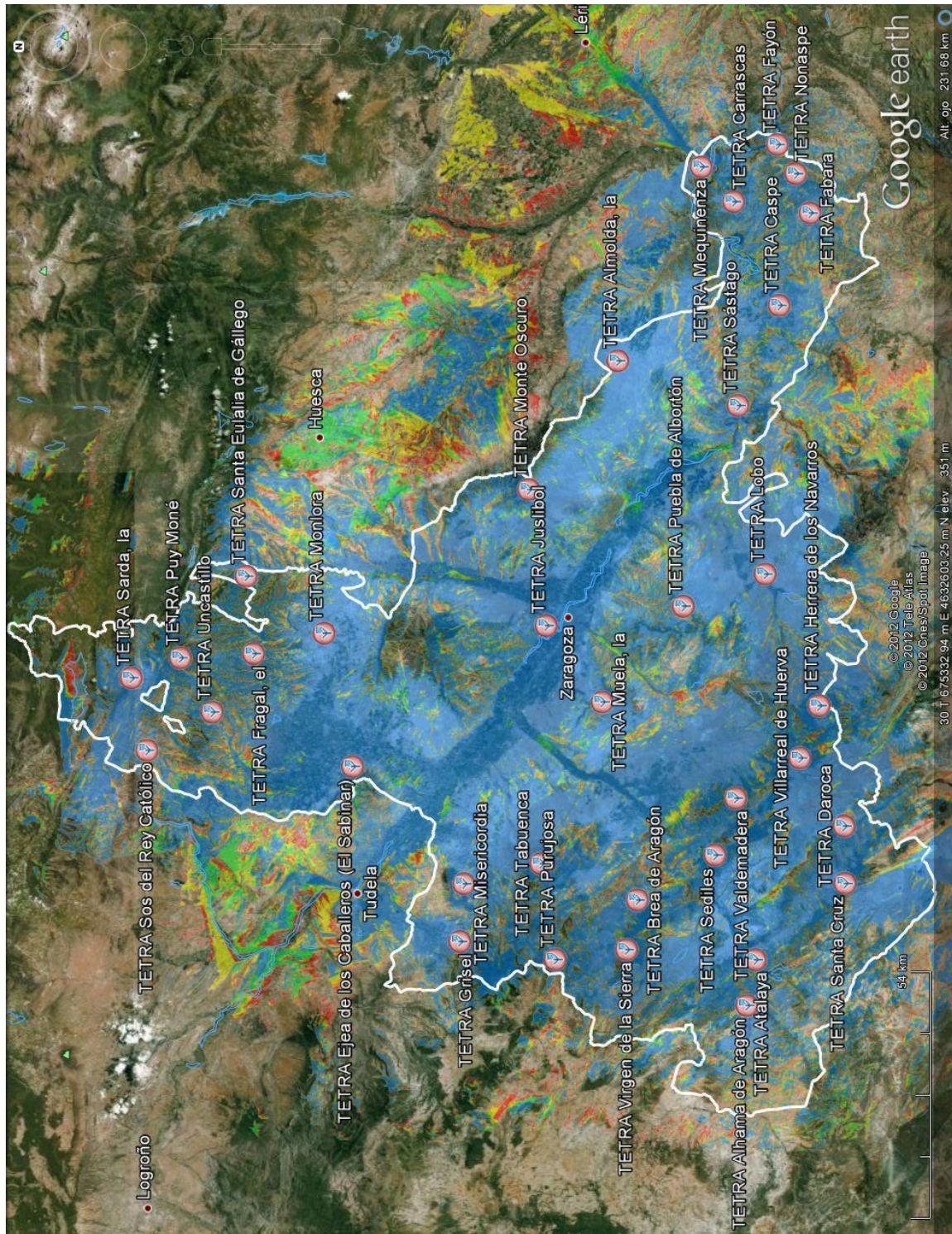


Imagen 17.- Cobertura global TETRA Zaragoza. Niveles de potencia

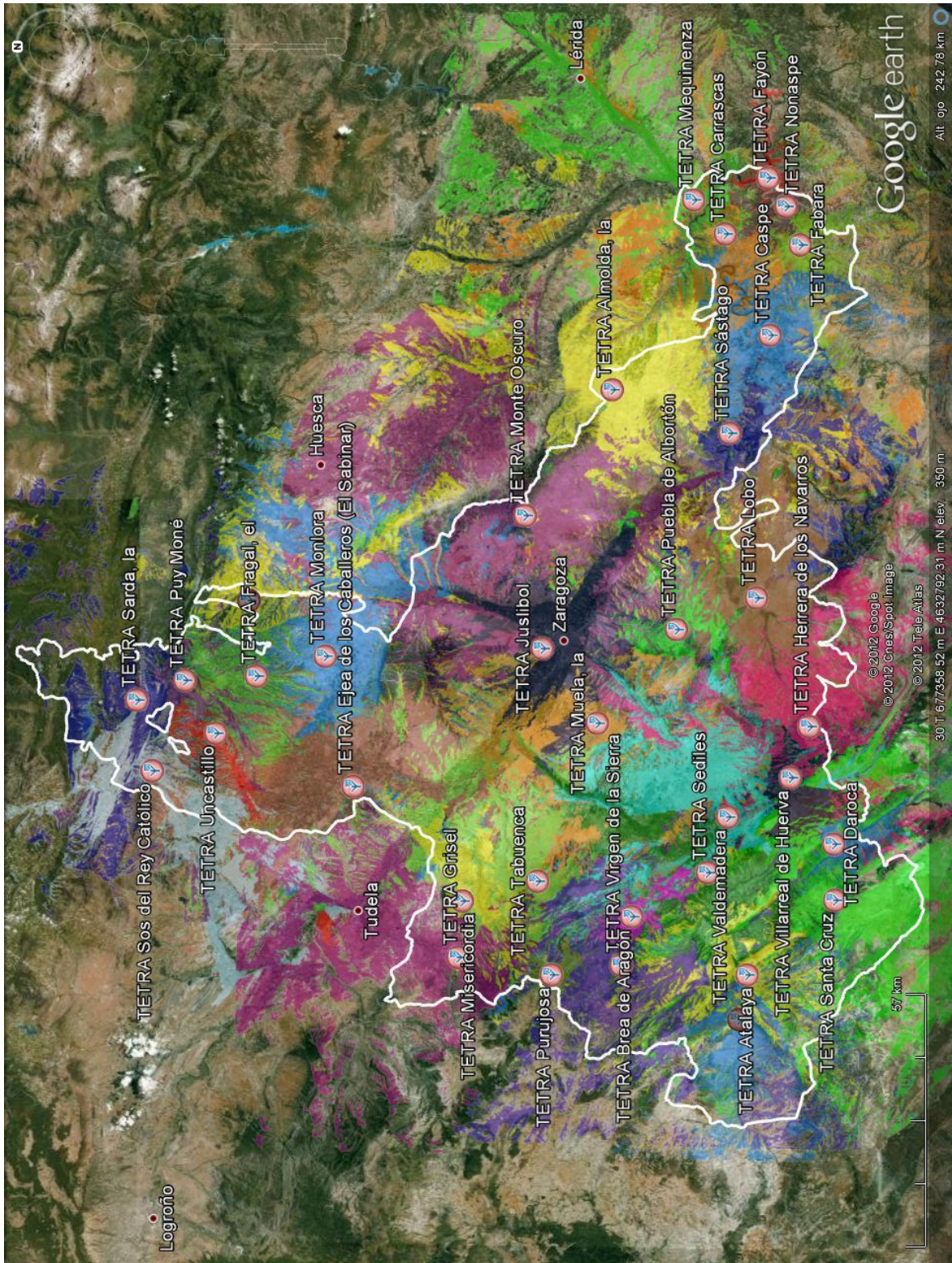


Imagen 18.- Cobertura global TETRA Zaragoza. Mejor servidor

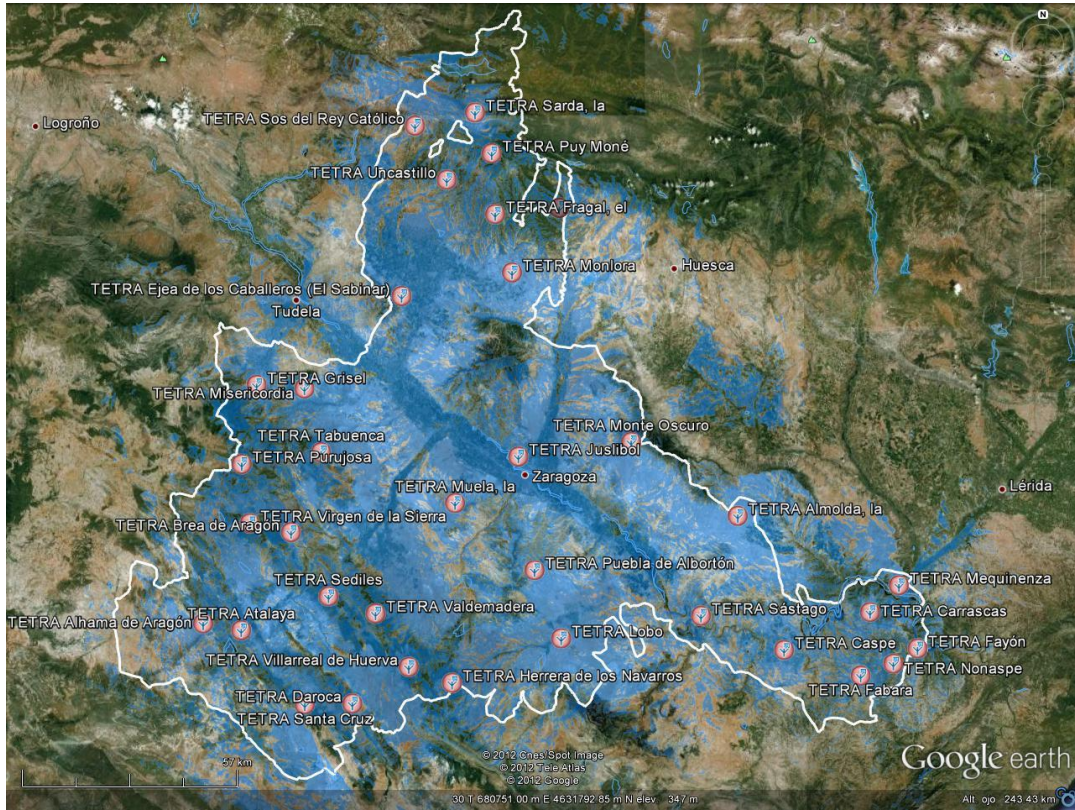


Imagen 19.- Cobertura TETRA Zaragoza. Portátil 3W interiores en mano

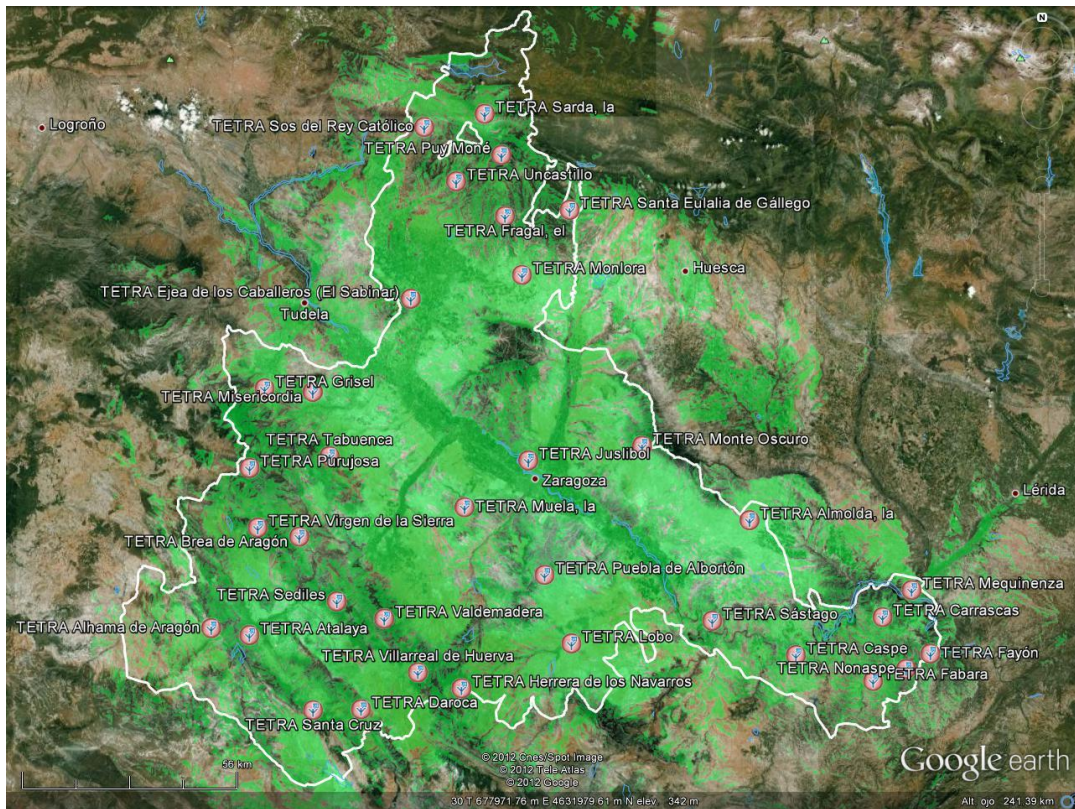


Imagen 20.- Cobertura TETRA Zaragoza. Portátil 3W exteriores en cintura

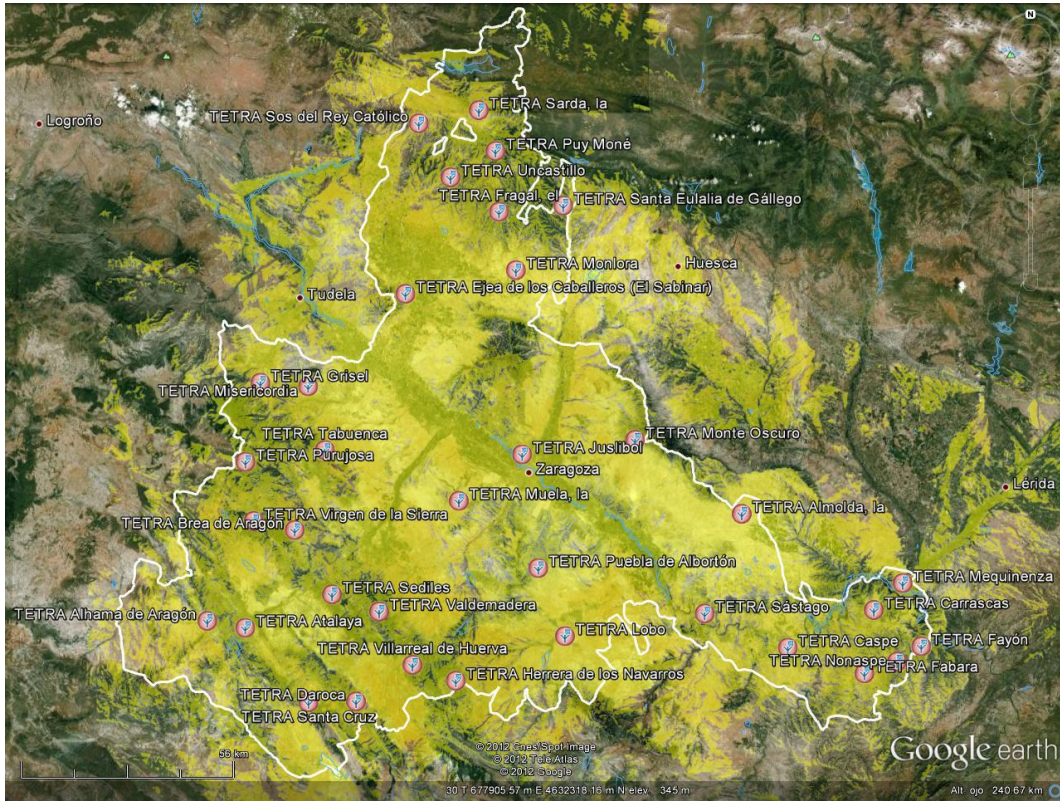


Imagen 21.- Cobertura TETRA Zaragoza. Portátil 3W exteriores en mano

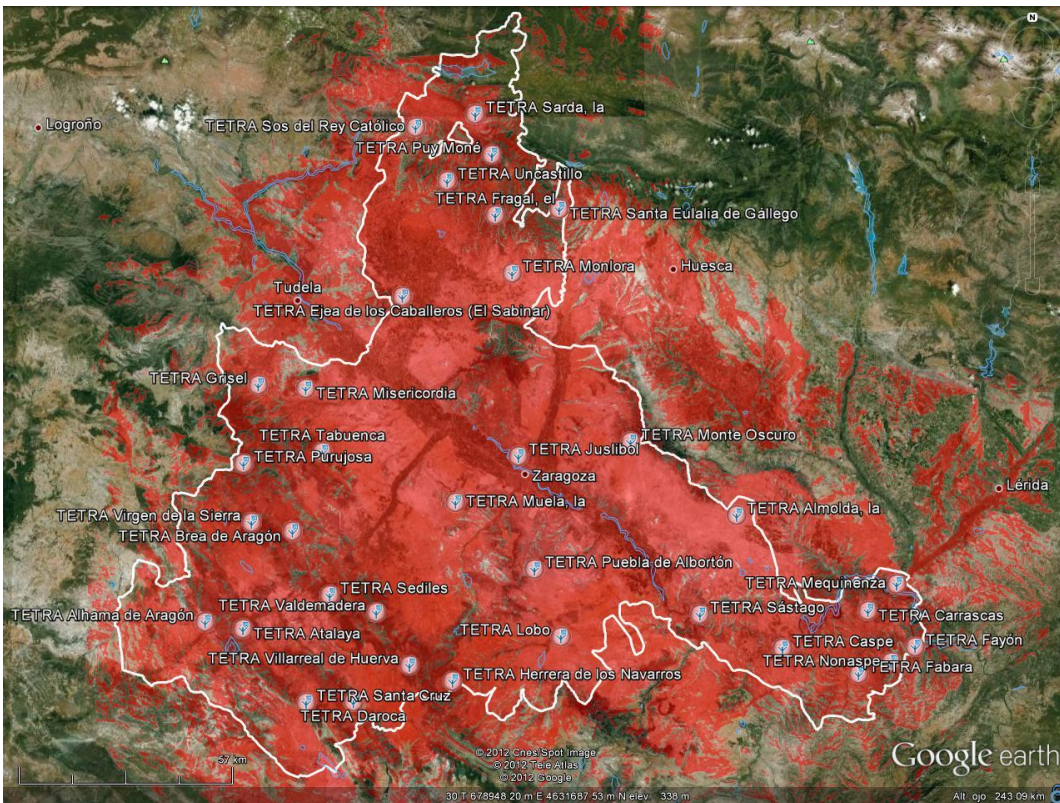


Imagen 22.- Cobertura TETRA Zaragoza. Móvil 10W

Tras la conclusión del estudio multicobertura, Sirenet® permite calcular el porcentaje de superficie cubierta para el nivel de potencia deseado. En este caso:

Tipo de receptor	Nivel de potencia Rx	Porcentaje superficie cubierta
Portátil 3W interiores mano	-73,04 <= P [dBm]	72,52 %
Portátil 3W ext. en cintura	-76,04 <= P < -73,04 [dBm]	77,90 %
Portátil 3W ext. en mano	-83,04 <= P < -76,04 [dBm]	85,94 %
Móvil 10W	-90,18 <= P < -83,04 [dBm]	91,62 %

Tabla 8.- Porcentaje de superficie cubierta

3.4.3. Asignación de frecuencias

En este punto se va a presentar una propuesta de los canales a utilizar en cada una de las celdas, partiendo de dos portadoras por cada una de ellas.

[9]El programa calcula inicialmente un estudio del mejor servidor en cada punto del área completa de cobertura. En este caso, en cada zona designada como mejor servidor, se asegurará un 90% libre de interferencia. La asignación de canales se realiza mediante el método de generación de números aleatorios Box-Müller con un número de 10.000 iteraciones y permitiendo la reasignación de canales reservando una distancia mínima de reutilización de 54 Km (radio máximo de los cálculos de las coberturas individuales).

Nº	Centro	Nº Canal	Canal
1	Alhama de Aragón	0	13
2		1	9
3	Almolda, la	0	21
4		1	17
5	Atalaya	0	53
6		1	49
7	Brea de Aragón	0	77
8		1	73
9	Carrascas	0	13
10		1	9
11	Caspé	0	82
12		1	34
13	Daroca	0	37
14		1	33
15	Ejea de los Caballeros (El Sabinar)	0	5
16		1	1
17	Fabara	0	5
18		1	1
19	Fayón	0	29
20		1	25
21	Fragal, el	0	69
22		1	65
23	Grisel	0	94
24		1	90
25	Herrera de los Navarros	0	77
26		1	73

27	Juslibol	0	61
28		1	57
29	Lobo	0	102
30		1	98
31	Mequinenza	0	61
32		1	57
33	Misericordia	0	45
34		1	41
35	Monlora	0	21
36		1	17
37	Monte Oscuro	0	5
38		1	1
39	Muela, la	0	53
40		1	49
41	Nonaspe	0	37
42		1	33
43	Puebla de Albortón	0	37
44		1	33
45	Purujosa	0	98
46		1	42
47	Puy Moné	0	53
48		1	49
49	Santa Cruz	0	21
50		1	17
51	Santa Eulalia de Gállego	0	94
52		1	90
53	Sarda, la	0	61

54		1	57
55	Sástago	0	69
56		1	65
57	Sediles	0	69
58		1	65
59	Sos del Rey Católico	0	45
60		1	41
61	Tabuenca	0	37
62		1	33

63		0	13
64	Uncastillo	1	9
65		0	61
66	Valdemadera	1	57
67		0	13
68	Villarreal de Huerva	1	9
69		0	86
70	Virgen de la Sierra	1	82

Tabla 9.- Tabla de asignación de canales

Los datos de la tabla de reutilización de frecuencias obtenidos dan la posibilidad de solicitar únicamente 28 canales de los 70, que sin la mencionada reutilización, serían necesarios.

Esta propuesta debería tener en cuenta los canales utilizados por las redes TETRA vecinas y denegar la asignación automática de aquellos ya ocupados. Sin embargo, esta información no es facilitada por parte de las Jefaturas Provinciales de Telecomunicaciones.

4. RED DE TRANSPORTE

El transporte de la red TETRA presentada en este trabajo está basado en la configuración, actualmente en desarrollo, de la Red Pública de Infraestructuras de Telecomunicaciones de Aragón (REPITA).

La REPITA es una red multiservicio de transporte y difusión de diferentes servicios públicos de la comunidad autónoma. Integra alrededor de 115 emplazamientos de telecomunicaciones necesarios para conectar directamente o a través de otros emplazamientos de acceso, la mayoría del territorio aragonés.

El transporte de datos discurre vía fibra óptica o vía radio. La parte de radio sigue una estructura jerárquica dividida en red troncal, red de distribución y red de acceso; basada en Ethernet, y que a su vez es transmitido o bien de forma nativa o bien mapeándolo en GFP (generic framing procedure) sobre SDH o PDH.

4.1. Red Troncal

Aglutina los centros de telecomunicaciones de nivel 1 y 2. Está formada por 5 anillos y 9 ramales adicionales de tecnología síncrona SDH (Synchronous Digital Hierarchy). En su mayoría estos radioenlaces transmiten en las bandas de frecuencia 6L, 6U y 13 GHz. La configuración en 5 anillos y con diversidad espacial permite proporcionar a la red troncal de una importante redundancia para otorgar una disponibilidad máxima, en torno al 99,99%. Los ramales adicionales presentan también diversidad espacial y destacan por canalizar diversos enlaces de la red de transporte, importantes para zonas estratégicas.

4.2. Red de Distribución

Conecta el nivel 3 de emplazamientos a la red troncal. La tecnología empleada en estos radioenlaces es PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) y también está configurada con diversidad espacial para garantizar la máxima disponibilidad.

4.3. Red de Acceso

Aún está en fase de planificación y servirá para enlazar los centros de nivel 4, que en su mayoría son los que cubren las localidades de menor entidad, centros remotos de trabajo o

centros que eliminan zonas de sombra. En la mayoría de los casos, se adecuarán centros municipales o de otras administraciones ya existentes para otros servicios como la televisión digital terrestre o emisoras locales de radio. La tecnología planificada para estos radioenlaces es WiMAX o preWiMAX en banda no licenciada, debido a su menor tráfico previsto y al menor coste en su adquisición e instalación.

Los enlaces propuestos para las estaciones de baja capacidad (MBS) diseñados en este trabajo son de este tipo y pueden funcionar en las bandas no licenciadas de 5,4 GHz y 5,8 GHz ya que no presentan todavía saturación en los puntos planificados. En todos ellos se ha comprobado la línea de vista mediante la herramienta de planificación radioeléctrica Sirenet. Éstos son:

Radioenlace	Línea de vista (LOS) [Km]
Virgen de la Sierra - Calcena	11,5
Calcena - Purujosa	6,8
Fabara - Nonaspe	9,2
Fabara - Fayón	16,6
Tabuena - Misericordia	17,2
Herrera de los Navarros - Villarreal de Huerva	12,1
Fragal, el - Puy Moné	15,8
Loarre - Santa Eulalia de Gállego	14,4

Tabla 10.- Enlaces de acceso adicionales a la red REPITA

4.4. Red de Fibra Óptica

En su primera fase conectará las sedes de la DGA y AST en las tres capitales de provincia aragonesas. A finales de 2012 entrará en servicio el primer tramo Zaragoza – Teruel.

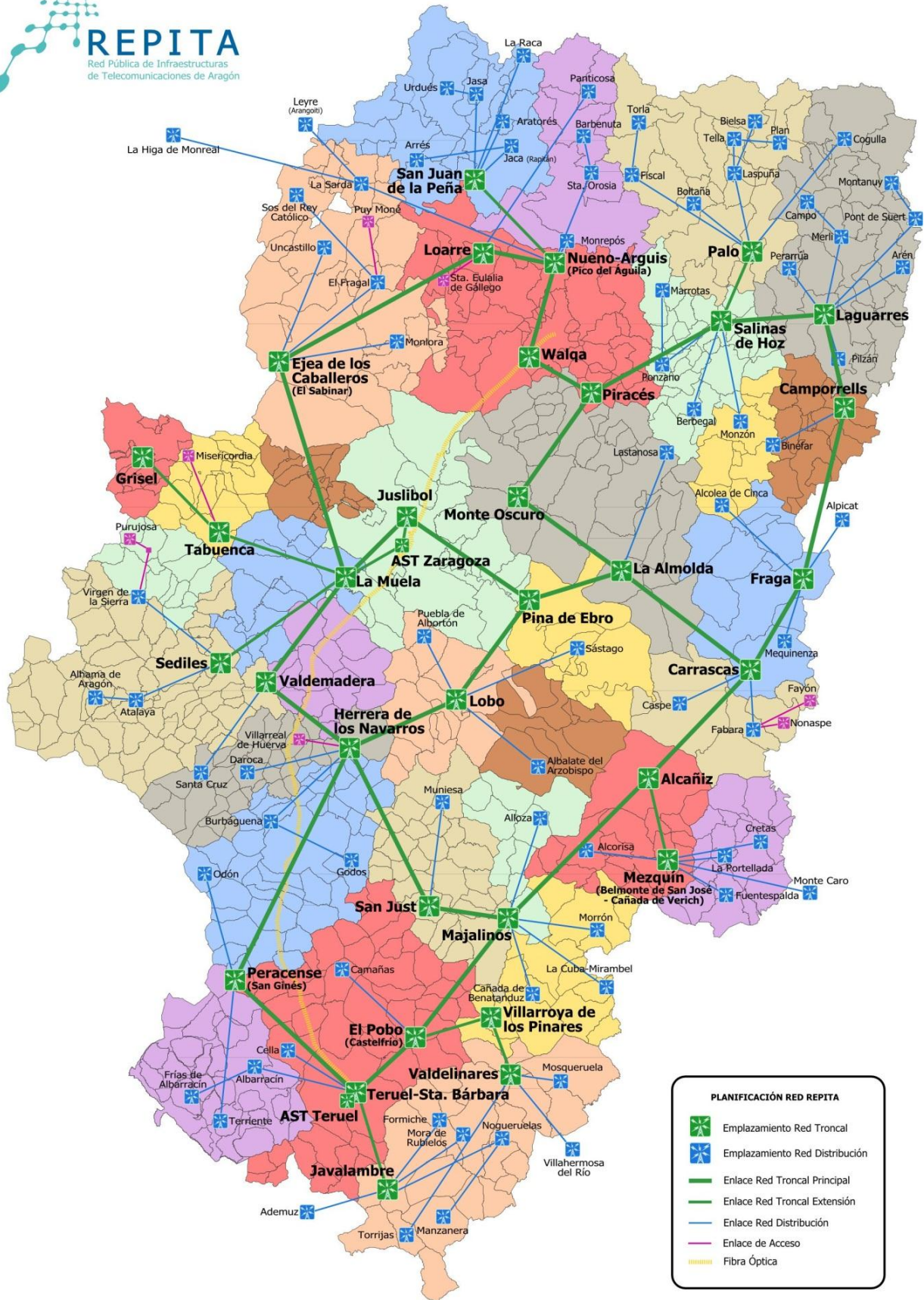


Imagen 23.- Red REPITA

5. EQUIPAMIENTO TETRA

[5][6] La red TETRA forma una red jerárquica cuyos elementos principales se definen a continuación:

- Suscriptores: Son terminales fijos, móviles o portátiles que se conectan con la estación base. Tienen capacidad multifrecuencia y son capaces de cambiar de frecuencia a medida que el usuario se mueve por la red. Cada suscriptor tiene un único identificador para interactuar con la infraestructura.
- Estación base (EB): Consiste en una o varias portadoras que permiten la comunicación entre diferentes suscriptores a través de la red en la que están integradas. Las estaciones base de alta capacidad pueden funcionar de manera autónoma en pequeños sistemas convencionales permitiendo la comunicación a los suscriptores bajo su radio de acción o también pueden estar conectadas para formar áreas de cobertura más grandes.
- Nodo Central (SCN): TETRA es un sistema de operación trunking y por este motivo, las EB necesitan equipamiento centralizado para controlar el funcionamiento del sistema completo. El nodo central gestiona todo el procesamiento de llamadas, el encaminamiento de la voz y la localización de los suscriptores dentro del sistema y posee además, funciones de gestión de la red. La asignación de los canales para cada suscriptor es gestionada por el nodo central de manera automática. En un sistema completo puede haber uno o varios nodos centrales, dependiendo del tamaño del sistema y del número de usuarios.
- Switch de interconexión de segmentos (SIS): es un elemento opcional que proporciona el incremento del número de EB soportadas por la infraestructura TETRA. Permite conectar varios segmentos de red (interconexión entre diferentes nodos centrales (SCN)).
- Sistema de gestión de red (NMS): Es la interfaz del gestor del sistema con los operadores. Proporciona un conjunto de aplicaciones para configurar, mantener, operar y gestionar la infraestructura.

Esta infraestructura utiliza una tecnología 100% basada en IP. Dentro del sistema principal de la red, se encuentran uno o varios switches de interconexión (Switch MNI) con capacidad de capa 3, que son los encargados de direccionar la información entre los diferentes módulos. Todos los módulos del sistema incluyen puertos Ethernet para ser conectados a estos switches. Esto proporciona a la red escalabilidad, seguridad y conectividad.

Un sistema trunking hace posible que un gran número de suscriptores utilicen un limitado número de recursos. Es probable que el número de suscriptores crezca a lo largo de

la vida útil de la red. Esto significa que la infraestructura debe tener la capacidad de ser escalable para poder soportar este tipo de crecimientos.

Cada estación base (EB) permite hasta 32 portadoras. Cada portadora se añade fácilmente mediante un mecanismo plug&play, conectándola directamente al Switch Ethernet. Un nodo central (SCN) puede conectar hasta 250 estaciones base (EB). Si la red de transporte es asíncrona, añadir una SBS nueva no requiere hardware adicional. Con enlaces síncronos, únicamente se necesita el hardware necesario para acceder a la red de transporte correspondiente.

Un grupo de EB controladas por un SCN forman un segmento de red. Para construir redes de gran cobertura, se pueden conectar hasta 64 segmentos de red, integrando hasta 8000 EB, gracias al sistema de interconexión de segmentos (SIS).

Este sistema permite crear un número elevado de topologías según la red backhaul que dispongamos. En este caso, se va a utilizar la REPITA como red de interconexión. Esta red está basada principalmente en Ethernet y por tanto, permite crear diferentes VLAN funcionales TETRA definidas en los puertos de los switches de transporte.

VLAN de los switches de transporte:

- VLAN independiente para cada segmento de red.
- VLAN para cada SIS.
- VLAN para cada WAN de unión entre los segmentos y el SIS.

Además de las VLAN descritas, se pueden reservar adicionalmente otras como:

- VLAN independiente para cada SCN en caso de ser redundado.
- VLAN para la LAN externa.
- Otras VLAN auxiliares.

Estos switches de transporte tienen activado y convenientemente configurado el protocolo Spanning Tree para evitar bucles en los anillos de transporte y permitir la recuperación de la comunicación en caso de corte en algún punto de la red de transporte.

Las redes Ethernet pueden conformar topologías en estrella, en línea, en anillo o mixtas como es el caso de la REPITA.

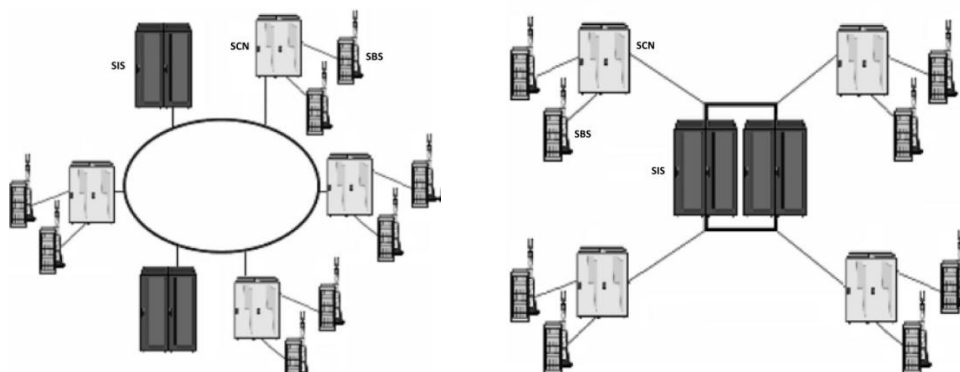


Imagen 24.- Ejemplos de topología en anillo y en estrella

En el estudio sobre la provincia de Zaragoza, se definirán:

- 35 estaciones base con 2 portadoras cada una.
- Estaciones base incorporadas de las redes locales de Zaragoza y Calatayud.
- 2 nodos centrales (SCN). Uno principal y otro redundante.
- 2 Sistemas de interconexión de segmentos (SIS). Uno principal y otro redundante (a posteriori).

La futura ampliación a las provincias de Teruel y Huesca utilizará los mismos sistemas de interconexión pero añadiendo los correspondientes nodos centrales en cada provincia.

La red REPITA va a aceptar también routing de capa 3. Esta característica permite también unir las estaciones base (EB), los nodos centrales (SCN) y los sistemas de interconexión de segmentos (SIS) utilizando diferentes VPN. Se basa en la conexión de cada Firewall incorporado en las estaciones base o en los nodos centrales, a la red IP mediante la asignación de una IP fija a cada uno de ellos, que origina el establecimiento de las VPN de interconexión.

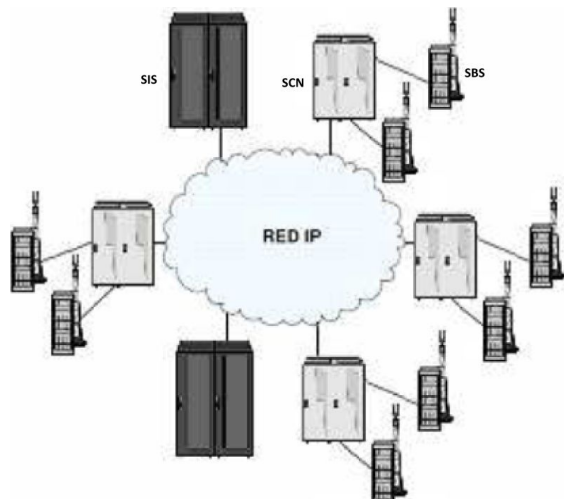


Imagen 25.- Topología de red IP

Las estaciones base TETRA pueden clasificarse como de alta o baja capacidad y son planificadas en función de la cobertura prevista, el tráfico estimado y las características del centro donde se debe instalar.

El sistema de gestión de la red TETRA está basado en una arquitectura cliente/servidor. Entre otras funcionalidades disponibles está la de gestionar la red a través de diferentes PCs de clientes mediante protocolos estándar IP. Se puede configurar con diferentes privilegios de acceso, permitiendo la separación entre la gestión operacional y la técnica.

La arquitectura del sistema de gestión admite, además, que las topologías y las principales funciones puedan ser centralizadas o distribuidas en diferentes ordenadores personales. Por ejemplo, es posible tener unos PCs dedicados a la gestión operativa (subscriptores, estadísticos, histórico de llamadas...) y otros PCs diferentes para la gestión técnica o de mantenimiento (SNMP, logging de eventos y alarmas, configuración de la red...).

En general, existen múltiples posibilidades de redundancia del hardware que forma el sistema de gestión.

Continuando con las características de los equipos utilizados en la planificación calculada, se describen los rasgos generales del equipamiento comercializado por el fabricante local Teltronic® en el Anexo 1 del presente documento.

6. SOLUCIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE OTRAS REDES DE TELECOMUNICACIONES

En los últimos años se han desplegado diferentes tecnologías inalámbricas en todo el territorio nacional, teniendo un especial impacto en entornos urbanos donde se concentra la población. Hasta la aparición del UMTS (3G) no se podía hablar verdaderamente de banda ancha móvil y su implantación estuvo muy condicionada por la cantidad de abonados y el gran número de recursos dedicados por parte de las operadoras. El entorno rural es el más perjudicado por estas características y hasta 2011 la mayor parte del territorio aragonés seguía sin contar con cobertura 3G. A día de hoy, varios operadores han actualizado gran parte de sus centros a esta tecnología, lo que permite disponer de un ancho de banda alto para datos en áreas remotas de nuestra geografía.

En cualquier despliegue realizado para colectivos de emergencias, ya sea en tecnología analógica o digital como TETRA o TETRAPOL, la principal propiedad que debe tener la red es la disponibilidad. Se debe garantizar el servicio sobre todo en situaciones graves como incendios, accidentes, etc.

Esta robustez debe empezar por disponer de instalaciones de obra civil (torres, caseta, refrigeración, vallado) de calidad y garantizar el suministro eléctrico con grupos electrógenos, bancos de baterías, placas solares, etc. en caso de caída del suministro proporcionado por la compañía.

Sin embargo, existe un punto flaco en aquellos emplazamientos de difícil acceso. Es muy probable que únicamente sea viable un único camino para llegar a él (como el caso de Purujosa o Fayón) y en caso de caída del radioenlace o del nodo de enlace, se pierde completamente la comunicación. Este problema es muy frecuente en la telefonía móvil de los entornos rurales y se presenta también en los despliegues de redes de emergencia.

La inexistencia de otras redes de banda ancha desplegadas acentuaba esta problemática, o requería de instalaciones o enlaces con tecnologías extremadamente caras que prácticamente hacían inviable su despliegue.

A continuación, se van a exponer soluciones a este problema que evitan un coste muy elevado en los entornos rurales y que dota de redundancia indirecta a estas redes.

6.1. Solución 1. Despliegue de red LTE paralela

Una solución al problema estaría en el despliegue de una red paralela a TETRA que permita además ampliar las capacidades de la tecnología actual.

LTE parece ser la elegida para los futuros PMR (professional mobile radio). Empresas como Alcatel-Lucent® y Cassidian®, por ejemplo, ya comercializan su solución Evercor®, que permite la implantación de toda una red con tecnología LTE en la banda de 400 MHz.

- Ventajas:
 - Gran ancho de banda. LTE permitirá desarrollar definitivamente la banda ancha en las comunicaciones PMR (servicios de e-mail, mensajería, vídeo, geoposicionamiento avanzado, etc.).
 - Planificación de coberturas similar a las actuales al desarrollarse en bandas parecidas del espectro radioeléctrico.
 - Terminales LTE de última generación.
 - Simultaneidad de funcionamiento con las redes TETRA o TETRAPOL actuales.

- Inconvenientes:
 - Coste muy elevado de despliegue. Es necesario implantar nuevo equipamiento en todos los niveles de la red de emergencias, incluida la adecuación de emplazamientos. Una tecnología tan nueva tiene además unos precios muy altos de partida.
 - Espectro radioeléctrico. Tanto la banda de 380 MHz como la de 400 MHz están siendo utilizadas en la actualidad. Es necesario para el despliegue de esta tecnología que el Ministerio de Industria libere alguna parte de estas bandas, ya que las canalizaciones empleadas por TETRA, con respecto a LTE, no son compatibles. El despliegue en otras bandas como la de 800 MHz necesitaría, por otro lado, de nuevos centros de difusión debido a su menor alcance.
 - Falta de terminales híbridos. Aunque fabricantes como Sepura® parecen ir en esa línea, no existen todavía en el mercado terminales PMR digitales híbridos con ambas tecnologías TETRA/LTE. Esto obligaría a disponer de dos terminales diferentes, siendo muy engorroso para los usuarios.

6.2. Solución 2. Handover vertical. Utilización de otras redes existentes

Como se ha explicado en el punto anterior, la infraestructura TETRA presentada está basada en IP. Por lo tanto, la utilización de otras redes existentes debe garantizar la continuidad siguiendo este esquema de funcionamiento.

En la topología de red presentada, aparecen numerosos nodos que disponen únicamente de un enlace para sacar el tráfico. En muchos casos, se podría añadir un segundo radioenlace apuntado a otro centro diferente, pero se incrementaría exponencialmente el coste sin contar con la complejidad introducida en la red, cuya gestión y mantenimiento sería necesario redefinir. No hay que olvidar que algunos de los nodos no se pueden radioenlazar

por un segundo camino debido a la orografía del terreno o porque las características del emplazamiento no lo toleran.

Si se produjera una pérdida de conectividad en estos nodos se generarían las siguientes situaciones:

- Corte de comunicación en nodo de alta capacidad: aunque el enlace presenta diversidad espacial, puede producirse una pérdida del nodo precedente y la comunicación se cortará de todas maneras. El modo degradado de esta estación base entrará en funcionamiento permitiendo la comunicación en los terminales a su alcance. Sin embargo, estos terminales no se podrán comunicar con otros situados en otras celdas.
- Corte de comunicación en nodo de baja capacidad: además de la pérdida de comunicación con otras celdas, estas estaciones base no disponen de modo degradado. Por lo tanto, los terminales bajo su cobertura también perderán completamente la comunicación.

Para solucionar ambos escenarios, es posible utilizar gateways que implementen en estos nodos un handover vertical (VHO), que se define como el cambio de conectividad en un nodo entre tecnologías diferentes.

Una vez producida una pérdida en el enlace que conecta el nodo con el resto de la red, se activará el nuevo camino a través de una red móvil comercial, por medio de un gateway con capacidad para aglutinar el tráfico TETRA.

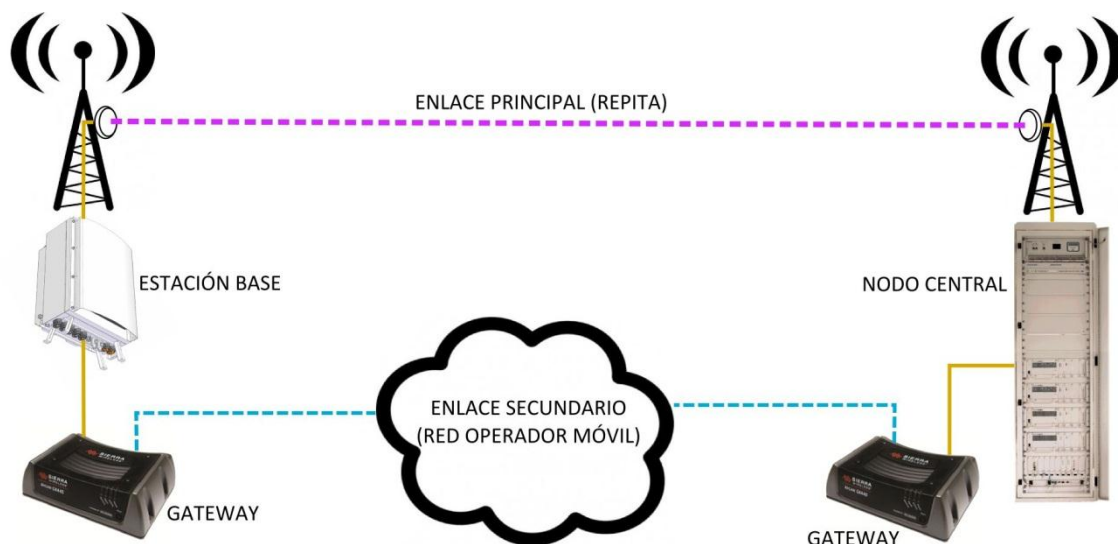


Imagen 26.- Esquema de la solución con gateways inteligentes

También se puede utilizar esta configuración para instalar de forma muy rápida nodos transportables para situaciones excepcionales. Un vehículo equipado con una estación base de baja capacidad puede comunicarse con el resto de la red TETRA mediante un gateway, a través

de un operador móvil, en caso de que el modo TETRA DMO no sea posible o instalar un radioenlace sea una tarea complicada.

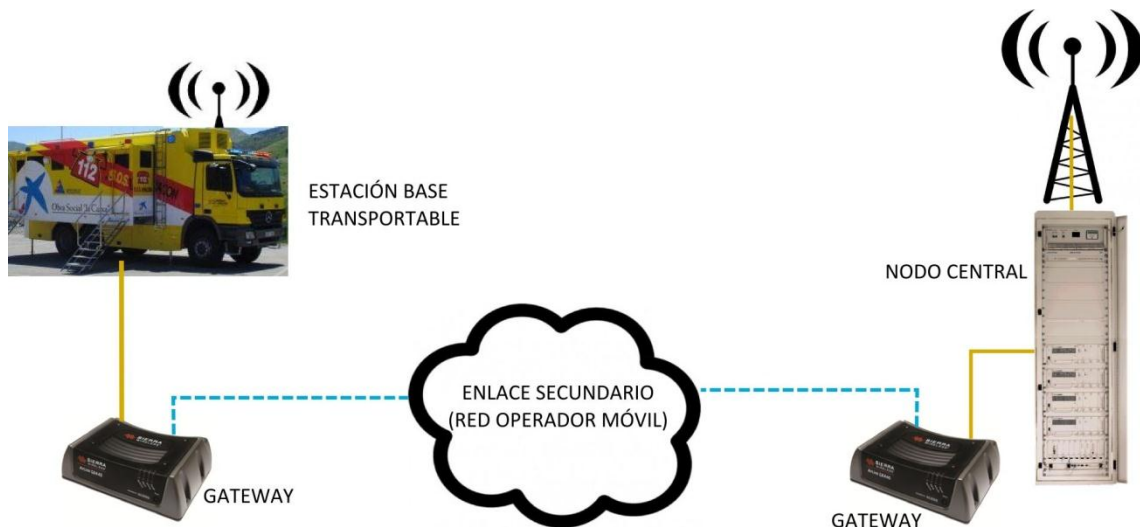


Imagen 27.- Esquema de la solución con gateways inteligentes para EB transportables

La siguiente tabla muestra una comparativa de velocidades máximas de datos según tecnología (implementación típica) que servirá para decidir la tecnología celular mínima necesaria para implementar la solución anterior.

Tecnología	Downlink	Uplink
GSM (2G)	9,6 Kbps	9,6 Kbps
GPRS (2,5G)	40 Kbps	20 Kbps
EDGE (2,75G)	120 Kbps	60 Kbps
WCDMA (3G)	384 Kbps	64 Kbps
HSDPA (3,5G)	10 Mbps	384 Kbps
HSUPA (3,75G)	10 Mbps	5,72 Mbps
HSPA+ (3,8G)	28 Mbps	11 Mbps
LTE (3,9G)	100 Mbps	50 Mbps
TETRA	28 Kbps *	28 Kbps *
TETRA2/TEDS	691 Kbps *	691 Kbps *

Tabla 11.- Comparativa de velocidades máximas de datos

* Datos en bruto

Como la planificación de la red propuesta en este trabajo presenta 2 portadoras por nodo, se necesita un mínimo de 56 kbps para poder contener el tráfico TETRA completo de un nodo. La tecnología EDGE queda demasiado justa en el uplink si no se desea acaparar toda su capacidad. Además, es conocida por todos la sobresuscripción que realizan los operadores, por

lo que se precisa de una tecnología con mayor velocidad de datos para asegurar su integridad. UMTS (WCDMA) permite contener sin problemas el tráfico TETRA. Para TETRA2 se recomienda como mínimo una red HSPA+ aunque depende de la modulación empleada.

En definitiva, este trabajo pretende plasmar una solución robusta y al menor coste posible a un problema habitual en las redes de seguridad. Se pretende destacar:

- Aprovechamiento de la heterogeneidad. Las redes desplegadas por los operadores de móviles no son aprovechadas al máximo como soluciones backup de las redes de seguridad.
- Reducción notable del coste de implantación. Un segundo enlace en banda no licenciada, para redundar las estaciones base con un único camino, puede costar alrededor de los 7000€. En aquellos casos en los que se requiera un enlace licenciado, el precio se puede duplicar sin contar las tasas de utilización del espectro radioeléctrico y el coste del mantenimiento asociado.
La implantación de gateways inteligentes, como el que se ha descrito, tiene un coste aproximado de 800€ sumándoles la tarifa profesional de datos que rondaría los 300€/año, sin contar descuentos por volumen de contratación.
- Reducción del tiempo de obsolescencia de la tecnología TETRA. Con esta solución se reduce notablemente la necesidad de cambiar por completo la tecnología TETRA ya que se puede adaptar a las redes desarrolladas desde hace poco tiempo aumentando así su periodo de amortización.

6.2.1. Implementación de la solución 2

Para la implementación de esta solución, se propone utilizar el gateway inteligente AirLink® GX440 de Sierra Wireless que permite una velocidad de datos 3G o superior. Acaba de salir al mercado y consigue expresamente realizar el handover vertical buscado.



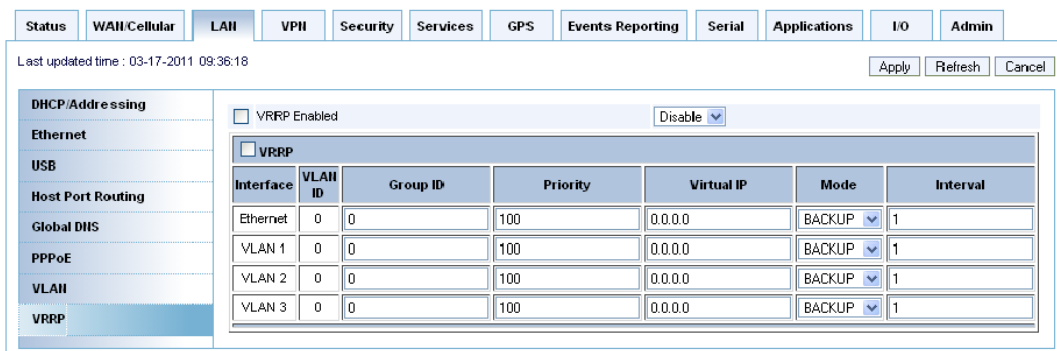
Imagen 28.- Gateway Sierra Wireless AirLink® GX440

Como principales características a destacar:

- Tecnologías celulares:
 - LTE 700 MHz.
 - HSPDPA / HSPUPA / HSPA+ 900/2100 MHz.

- EDGE / GPRS 900 / 1800 MHz.
- GPS integrado.
- Temperatura de funcionamiento: -30°C – 70°C.
- Gestión remota por webserver, SNMP.
- Aplicación ALEOS® 4.3 embebida que permite, entre otras:
 - Configuración WAN. Parámetros del operador móvil.
 - Configuración LAN. Gestión de VLAN.
 - Configuración VPN. Admite VPN de tipo 1 a 5, con seguridad IPsec, GRE y SSL.
 - Configuración modo ahorro de energía.
 - Configuración VRRP.
 - Generación de eventos.
 - Admite ALEOS® Application Framework. Plataforma de Sierra Wireless para soluciones particulares.
- Relé para activaciones externas.
- Alimentación en continua entre 9 y 36V.

Mediante VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) el gateway, que actuará como router esclavo, puede detectar cuándo es el destinatario del tráfico generado por el host al que está conectado una vez se produzca una caída del router maestro. En ese momento se activará la ruta 3G o LTE a través del operador móvil y se establecerá el camino secundario o de backup.



Interface	VLAN ID	Group ID	Priority	Virtual IP	Mode	Interval
Ethernet	0	0	100	0.0.0.0	BACKUP	1
VLAN 1	0	0	100	0.0.0.0	BACKUP	1
VLAN 2	0	0	100	0.0.0.0	BACKUP	1
VLAN 3	0	0	100	0.0.0.0	BACKUP	1

Imagen 29.- Menú VRRP en software ALEOS® 4.3 embebido^[10]

El tráfico Ethernet viajará a través de la VPN configurada previamente hasta llegar al nodo central de la red TETRA, el cual incorporará otro gateway que permitirá recibir y enviar el tráfico backup.

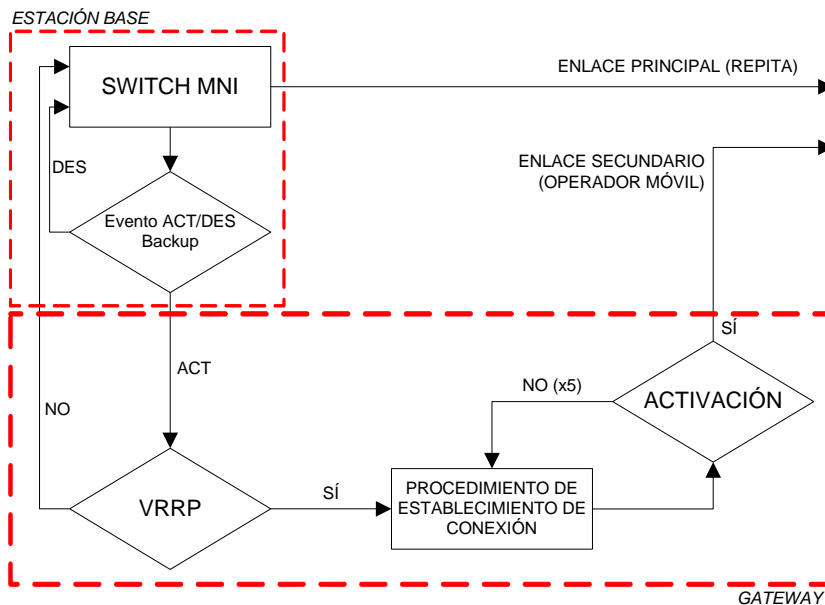


Imagen 30.- Secuencia de activación del camino secundario

Para que el procedimiento de conexión sea correcto, se introducirán los datos de las direcciones IP privadas y públicas que conformarán la VPN creada. Este mismo procedimiento se realizará en el lado del nodo central.

Además, el dispositivo se configurará con eventos que alerten del estado de la red del operador, de las entradas y salidas, temperatura, fallo eléctrico, etc. y lo enviará mediante sms o e-mail. Esta característica es muy útil para la telegestión de centros cuando la pérdida de la red principal no realiza la recepción directa de las alertas.

El relé incorporado se configurará para activar el autómata instalado en el centro para que active luces de emergencia, cámaras de seguridad, sensores, etc. y que ayuden a la seguridad en el centro.

Una vez configurado el camino de backup se deben realizar pruebas de funcionamiento para comprobar el correcto comportamiento del gateway y de la estación base.

- Prueba de latencia. Es necesario comprobar el tiempo que necesita un paquete de datos en llegar a su destino. Se estudiarán las prioridades de los elementos que intervienen en el camino secundario para acelerar la comunicación en caso de retardos muy apreciables.

- Prueba de conmutación: se someterá a la estación base a diferentes pruebas de corte de red con una comunicación activa para comprobar la continuidad por la red backup del operador móvil. Se comprobará el tiempo que necesita el gateway en establecer la conexión de backup. Se gestionará el tiempo de restart del túnel, tiempo de entrada en modo de bajo consumo, etc. para que la activación sea lo más inapreciable posible.
- Prueba de recepción de alarmas: se provocarán los eventos necesarios (corte eléctrico, pérdida de cobertura del operador, temperatura elevada, etc.) para comprobar la correcta recepción de las alertas programadas en el gateway.

6.2.2. Ventajas e inconvenientes de la solución 2

Esta segunda solución permite resaltar los siguientes aspectos:

- Ventajas
 - Utilización de diferentes tecnologías de red con el mismo dispositivo.
 - Aprovechamiento de las redes TETRA o TETRAPOL ya desplegadas. Permite que tecnologías como TETRA no queden obsoletas rápidamente.
 - Solución transparente al usuario final. La utilización actual y los servicios que se estén utilizando no son afectados con esta solución.
 - Terminales únicos.
 - No es necesario el Modo degradado en las estaciones de baja capacidad (MBS). Al permitir conmutar el tráfico por otra red y evitar que se corte, estas estaciones pueden seguir funcionando sin que se anule la comunicación con los usuarios a su alcance.
 - Ruta secundaria en estaciones base con un único camino posible.
 - Sin conocer las futuras reasignaciones de canales en el espectro radioeléctrico, esta solución asegura la continuidad con los estándares actuales para las redes profesionales de emergencias.
 - Rapidez en la implantación de la solución. Su instalación es muy rápida y no requiere de actuaciones relevantes.
 - El coste se reduce notablemente a la hora de implantar una ruta de backup. No es requerido desplegar ningún dispositivo adicional en la red actual.
- Inconvenientes
 - No permite aumentar la capacidad de TETRA hasta el usuario final. Nuevos servicios como el vídeo, e-mail, geoposicionamiento avanzado, etc. no se pueden introducir.
 - Requiere de cobertura mínima UMTS para su implantación. Aunque ha mejorado enormemente en los dos últimos años, existen zonas todavía con baja cobertura en esta tecnología.
 - Se pierde el control directo de la red ya que pertenece al operador comercial.

7. PRESUPUESTO

En este punto se va a mostrar el presupuesto necesario para el desarrollo de la red TETRA propuesta en este trabajo. Consta de dos partes, la primera sin la solución redundante con gateways y la segunda con ellos incorporados.

No están incluidos en este presupuesto los gastos recurrentes como el mantenimiento, coste eléctrico, coste de tarifa con operador móvil, etc. Tampoco se han incluido los centros de control y operación exclusivos de cada colectivo, en caso de necesitarse.

PRESUPUESTO	SOLUCIÓN SIN GATEWAY			SOLUCIÓN CON GATEWAY		
ESTACIONES BASE	Número	Precio unitario	Total por elemento	Número	Precio unitario	Total por elemento
SBS (2 portadoras)	24	65.920,28 €	1.582.086,72 €	24	65.920,28 €	1.582.086,72 €
MBS (x2)	11	51.713,33 €	568.846,63 €	11	51.713,33 €	568.846,63 €
Enlaces MBS	8	7.000,00 €	56.000,00 €	8	7.000,00 €	56.000,00 €
Gateway				32	799,00 €	25.568,00 €
Total			2.206.933,35 €			2.232.501,35 €
Incremento						1,15%

CENTRO DE CONTROL	Número	Precio unitario	Total por elemento	Número	Precio unitario	Total por elemento
SIS	1	232.479,84 €	232.479,84 €	1	232.479,84 €	232.479,84 €
SCN	2	298.767,11 €	597.534,22 €	2	298.767,11 €	597.534,22 €
Sistema de Grabación Digital (20 canales)	1	34.831,73 €	34.831,73 €	1	34.831,73 €	34.831,73 €
Cliente NMS	1	2.805,86 €	2.805,86 €	1	2.805,86 €	2.805,86 €
Llave de seguridad USB	1	143,39 €	143,39 €	1	143,39 €	143,39 €
Licencias IP Interface Access propietario	1	33.179,25 €	33.179,25 €	1	33.179,25 €	33.179,25 €
Total			900.974,29 €			900.974,29 €

TERMINALES	Número	Precio unitario	Total por elemento	Número	Precio unitario	Total por elemento
Equipo de Sobremesa DT-410	4	1.502,63 €	6.010,52 €	4	1.502,63 €	6.010,52 €
Móvil MDT-400	300	1.191,18 €	357.354,00 €	300	1.191,18 €	357.354,00 €
Portátil HTT-500	600	869,26 €	521.556,00 €	600	869,26 €	521.556,00 €
Programador del MDT-400 y DT-410	1	199,17 €	199,17 €	1	199,17 €	199,17 €
Programador del HTT-500	1	221,30 €	221,30 €	1	221,30 €	221,30 €
Herramienta de gestión de claves	1	638,69 €	638,69 €	1	638,69 €	638,69 €
Unidad de Medidas	1	2.975,69 €	2.975,69 €	1	2.975,69 €	2.975,69 €
Total			888.955,37 €			888.955,37 €

OTRAS APLICACIONES	Número	Precio unitario	Total por elemento	Número	Precio unitario	Total por elemento
Sistema de Facturación	1	103.461,54 €	103.461,54 €	1	103.461,54 €	103.461,54 €
Sistema de Localización WEB	1	357.980,83 €	357.980,83 €	1	357.980,83 €	357.980,83 €
Total			461.442,37 €			461.442,37 €

SERVICIOS DE PUESTA EN MARCHA	Número	Precio unitario	Total por elemento	Número	Precio unitario	Total por elemento
Servicio de puesta en marcha (instalación, pruebas)	1	500.000,00 €	500.000,00 €	1	500.000,00 €	500.000,00 €

TOTAL			4.958.305,38 €			4.983.873,38 €
--------------	--	--	-----------------------	--	--	-----------------------

Tabla 12.- Cálculo del presupuesto

Como se puede observar, la introducción de gateways inteligentes únicamente supone un incremento del 1,15% del coste total del despliegue.

8. CONCLUSIONES

La provincia de Zaragoza no cuenta todavía con una red global de emergencias, con tecnología TETRA para los diferentes colectivos de emergencias como los agentes forestales, de carreteras, ambulancias o policías locales de poblaciones medianas. Con este trabajo se muestra la planificación necesaria para cubrir más del 90% de la provincia de forma eficiente y con el menor coste posible.

La REPITA permite transportar el tráfico Ethernet, tanto de control como de usuarios, generado por TETRA hasta su nodo central. Según el tipo de emplazamiento y la cobertura que vaya a prestar, se utilizarán estaciones de alta o baja capacidad.

Para disponer de una red secundaria o de backup en aquellos nodos donde solo se accede con un único radioenlace es necesaria una redundancia en la red de transporte que conlleva un sobrecoste muy elevado en equipamientos, gestión y mantenimiento.

La incorporación de gateways inteligentes en las estaciones base con estas características permite, con un coste insignificante con respecto al conjunto del despliegue, la activación de una ruta secundaria que añade robustez y eficacia a las redes de emergencia, aprovechando las redes de banda ancha de los operadores móviles comerciales desplegadas en los dos últimos años en el entorno rural.

Con esta solución se pretende ahondar también en la tendencia de estos últimos años al aprovechamiento de la heterogeneidad de las redes existentes.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.M. Hernando Rábanos. *“Transmisión por radio, 5ª ed”*. Madrid: Editorial universitaria Ramón Areces, 2006; p. 168-169, p. 581-592, p. 596-598.
- [2] *“Recomendación UIT-R P.526-11. Propagación por difracción. Serie P. Propagación de las ondas radioeléctricas”*: UIT-R Sector de Radiocomunicaciones de la UIT. 2009.
- [3] *“Recomendación UIT-R P.1145. Datos de propagación para el servicio móvil terrestre terrenal en bandas de ondas métricas y decimétricas”*: UIT-R. 1995.
- [4] *“ETSI EN 300 392-1 V1.4.1 (2009-01). Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design”*: ETSI. 2009.
- [5] *“Infraestructura TETRA NEBULA. Descripción Técnica, v1.3”*. Zaragoza: Teltronic S.A. 2011.
- [6] *“MBS. Estación Base de montaje en mástil. Descripción Técnica, v3.0”*. Zaragoza: Teltronic S.A. 2011.
- [7] C. Martín Ruiz, D. Terrado Izquierdo. *“Sistema TETRA: introducción a la interfaz radio”*. Zaragoza: T2 Gestión de recursos radio, Máster TICRM, Universidad de Zaragoza. 2012.
- [8] R. Sanz, R. Agüero, L. Sánchez, J. Ruiz, M. García. *“T4 – Internet Móvil. Tema 2 Introducción a LTE (Long Term Evolution)”*. Asignatura TICRM. 2012.
- [9] *“SIRENET. Simulación de redes radioeléctricas”*. Madrid: Aplicaciones y Proyectos TIC S.L. 2011.
- [10] *“ALEOS 4.3.0. Configuration. User Guide, Rev.1.0”*. Newark: Sierra Wireless. 2012. http://www.sierrawireless.com/en/Support/Downloads/AirLink/Configurable_Intelligent_Gateways/~media/Support_Downloads/AirLink/docs/User_Guides/ALEOS_4.3.0_User_Guide.ashx. Cons. 22-08-2012.
- [11] *“AirLink® GX440 Intelligent 4G Gateway”*. Sierra Wireless. 2012. http://www.sierrawireless.com/en/productsandservices/AirLink/Configurable_Intelligent_Gateways/AirLink_GX440.aspx. Cons. 22-08-2012.
- [12] Peter Rysavy. *“Mobile Broadband EDGE, HSPA & LTE”*. Rysavy Research for 3G Americas. 2006.
- [13] *“Productos Teltronic”*. <http://www.teltronic.es/es/PRODUCTOS>.
- [14] *“CASSIDIAN y Alcatel-Lucent presentan la banda ancha móvil 4G LTE para radiocomunicaciones móviles profesionales (PMR) en la banda de frecuencia de 400 MHz”*. <http://www.cassidian.com/es/web/guest/CASSIDIAN%20and%20Alcatel-Lucent%20present%204G%20LTE%20mobile%20broadband>. Cons. 23-07-2012.
- [15] *“Hacia TETRA Release 2”* TETRA Association. <http://emercomms.ipellejero.es/2010/05/17/hacia-tetra-release-2/>. Cons. 01-08-2012.
- [16] *“Definition. TETRA (Terrestrial Trunked Radio)”*. <http://searchmobilecomputing.techtarget.com/definition/TETRA>. Cons. 30-06-2012.
- [17] *“Germany rolls out TETRA and LTE”*. http://www.wireless-mag.com/Features/13229/Germany_rolls_out_TETRA_and_LTE.aspx. Cons. 15-08-2012.

ANEXO 1. ESTACIONES BASE TETRA

A1.1. Estaciones base de alta capacidad o *site base station* (SBS)

[5] Se encuentran localizadas en los diferentes emplazamientos propuestos y su principal función es la de proporcionar acceso a los suscriptores de los servicios TETRA.

Consta de uno o más racks modulares que en conjunto forman la SBS y la dotan de todas sus funcionalidades. Entre estos módulos destacan:

- Repetidor de estación base o base station repeater (BSR): es cada una de las portadoras de radiofrecuencia (RF) de TETRA que proporcionan la cobertura al sistema. En este estudio se ha partido de un número de 2 portadoras. El armario de 42U de la SBS acepta incorporar hasta 4 portadoras o BSR. Cada portadora de RF tiene 4 canales físicos TETRA multiplexados en el tiempo. Se pueden configurar como canal de control (punto de acceso de los suscriptores) o como canales de tráfico (camino para las comunicaciones de voz y datos).
- Controlador de sitio local o local site controller (LSC): tarjeta que permite mantener el enlace y la comunicación con el controlador del nodo central (CNC), gestionar las portadoras (BSR) y hacer funcionar a la SBS en modo fallback o degradado. El modo degradado permite la comunicación entre los suscriptores de una estación base cuando el enlace de red se ha cortado y no es gestionado por el nodo central (SCN) o el sistema de interconexión (SIS). El área de comunicación estará restringida a la zona cubierta desde la estación pero cuya necesidad en diferentes situaciones como los incendios, puede ser enormemente necesaria.
- Tarjeta de sincronismo: Es un módulo de sincronismo de alta precisión y es necesario para proporcionar una referencia de frecuencia externa con o sin necesidad de GPS según la tarjeta elegida.
- Tarjetas Gateways: módulos que otorgan al sistema la posibilidad de conectarse con otras redes externas. Entre otros destaca la posibilidad de interconectar servicios RDSI, SMS de GSM, telefonía analógica o VoIP.
- Interfaces sitio-nodo o site-node interfaces (SNI): las diferentes portadoras (BSR) se comunican con el nodo central (SCN) a través de las tarjetas SNI. Además, proporcionan conversión de Ethernet a otro interfaz físico. Existen varios tipos de SNIs dependiendo de los requerimientos de acceso SNI-V.35, SNI-G.703/704, SNI-RDSI, SNI-Ethernet.

- Subrack MNI o module for networking interconnection: subrack donde se encuentran los switches MNI que son los que proporcionan la conectividad Ethernet.
- Otros módulos: los sistemas de alimentación, módulos de alarmas PLC, sensores, etc. Completan el conjunto de la SBS.

En cuanto al sistema radiante y la línea de transmisión tendida hasta el rack del equipamiento propuesto para este tipo de estación base, ya han sido detallados en el punto 3.2 balance de potencias. Se puede consultar además el esquema de la instalación completa en el ANEXO 2 incluidas las posiciones de las antenas, las protecciones ante sobretensiones por caídas de rayos, tipos de cables, etc.

A1.2. Nodo central o *switching control node* (SCN)

[5]Puede situarse en la misma ubicación física que una SBS o en un CPD principal y su cometido fundamental es centralizar la conmutación, el control y la gestión de la red. Cuenta con módulos y funcionalidades avanzadas que permiten direccionar la información entre las VLAN definidas en la red TETRA y convertir a Ethernet otras interfaces físicas.

El nodo central debe contar con:

- Servidor del sistema de gestión de red o network management server (NMS): se corresponde con el sistema de gestión global de la infraestructura TETRA. Desde el NMS se realizan todas las tareas de configuración tanto de la arquitectura de la red como de los terminales o abonados con los que se permite trabajar al sistema. Otras tareas como la monitorización también las realiza el NMS.
- Controlador del nodo central (CNC): está conectado al NMS y al resto del nodo central mediante el switch MNI. Se encarga de:
 - Control general del sistema: asignación de recursos, inicialización de los parámetros de configuración, mapeo de los canales lógicos en cada BRS, conecta y desconecta las entradas y salidas de la matriz de conmutación, monitoriza todos los elementos del sistema, recupera la información de las celdas adyacentes, etc.
 - Gestión de la red TETRA: realiza la comunicación entre el nodo central (SCN) y las estaciones base (SBS) a través de interfaces sitio-nodo (SIN) mediante una LAN Ethernet dedicada o con otras zonas remotas a través de enlaces WAN, permitiendo la configuración y la supervisión de cada elemento integrante.
 - Comunicación con el sistema de gestión (NMS).
 - Almacenamiento en bases de datos de la topología de la red, de los usuarios y de la configuración.

Como ejemplo de arquitectura general controlada por el CNC, se puede dividir el tráfico en tres grandes bloques o planos. La información proporcionada por cada uno viaja a través de la red Ethernet mediante diferentes protocolos, dependiendo del tipo de servicio que realizan.

- Plano C (Plano de control): por donde viaja la señalización TETRA de control.
- Plano U (Plano de usuario): encargado de las llamadas de voz, datos en modo paquete, etc.
- Plano M (plano de mantenimiento): su cometido es la configuración de la infraestructura, actualización de software, etc.

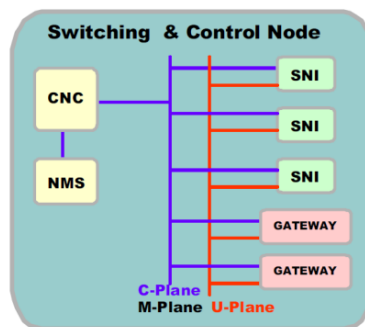


Imagen 31.- Nodo central (SCN). Arquitectura

A1.3. Estación base de baja capacidad o *mast-mount base station* (MBS)

[6]Este tipo de estación base compacta se adapta a la instalación en un mástil o torreta pequeña sin módulos adicionales excepto lo correspondiente al sistema radiante. Está diseñada para que se pueda ubicar a la intemperie y de forma rápida y sencilla.

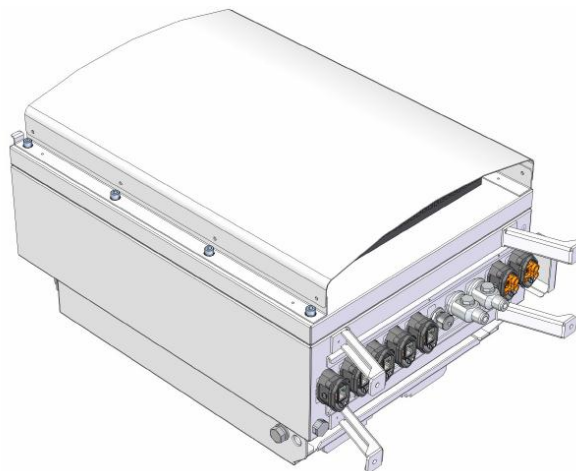


Imagen 32.- Estación base de baja capacidad (MBS)

Su finalidad principal es servir como gap-filler o rellenador de huecos para completar la cobertura en aquellas zonas donde una estación de alta capacidad no es necesaria. La integración en el sistema y las funcionalidades son similares a las estaciones base de alta capacidad excepto por las siguientes consideraciones:

- No soporta el modo fallback o degradado. Es decir, si se interrumpe el enlace con el nodo central, la estación interrumpirá también las comunicaciones entre los terminales que se encuentren dentro de su radio de acción.
- No dispone de módulos gateways.
- No admite módulos SNI. Los enlaces solamente pueden comunicarse en modo Ethernet no permitiéndose otros interfaces físicos.
- Únicamente se va a permitir la instalación de 2 portadoras (RBS) interconexionando dos MBR. No es posible añadir más portadoras.

Otras características relevantes son:

- La potencia máxima de transmisión es de 0,6 a 10W según el funcionamiento del control automático de potencia (CAG).
- Sincronismo y referencia de 10 MHz.
- Switch Ethernet para 2 radioenlaces con Power over Ethernet (PoE) (para diversidad 2).
- Fuente de alimentación para continua y alterna dependiendo de la opción instalada.
- Protección contra sobretensiones.
- Duplexor y multiacoplador.
- Las características del receptor en cuanto a protección sobre interferencias están por debajo de las recomendadas en el estándar. Por ejemplo:
 - Sensibilidad Estática (típica): -115dBm
 - Sensibilidad Dinámica: -106dBm
 - Relación de Interferencia Co-canal: $C/I_c = 19\text{dB}$
 - Relación de Canal Adyacente: $C/I_a = -45\text{dB}$
 - Rechazo a Intermodulación: $C/I = -65\text{dB}$
 - Rechazo a Espúreas: $C/I = -67\text{dB}$

- La configuración del sistema radiante estará formada, en la mayoría de los casos, por 2 antenas omnidireccionales, cuya configuración más aceptada es en diversidad 2 para recepción. Es decir:
 - Antena1 omnidireccional: tanto para Tx como para Rx.
 - Antena 2 omnidireccional: solo para Rx.

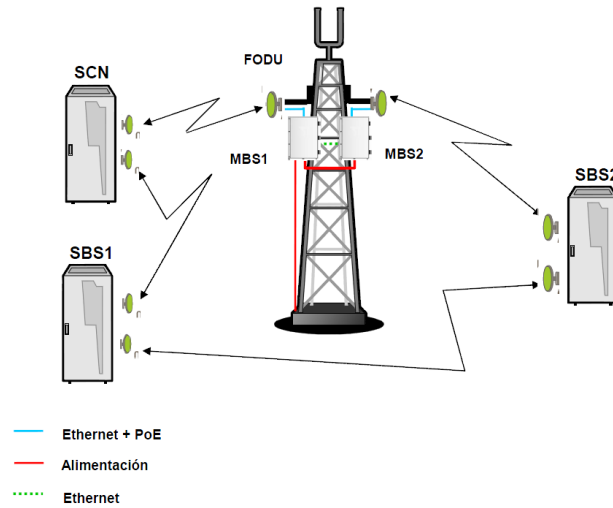
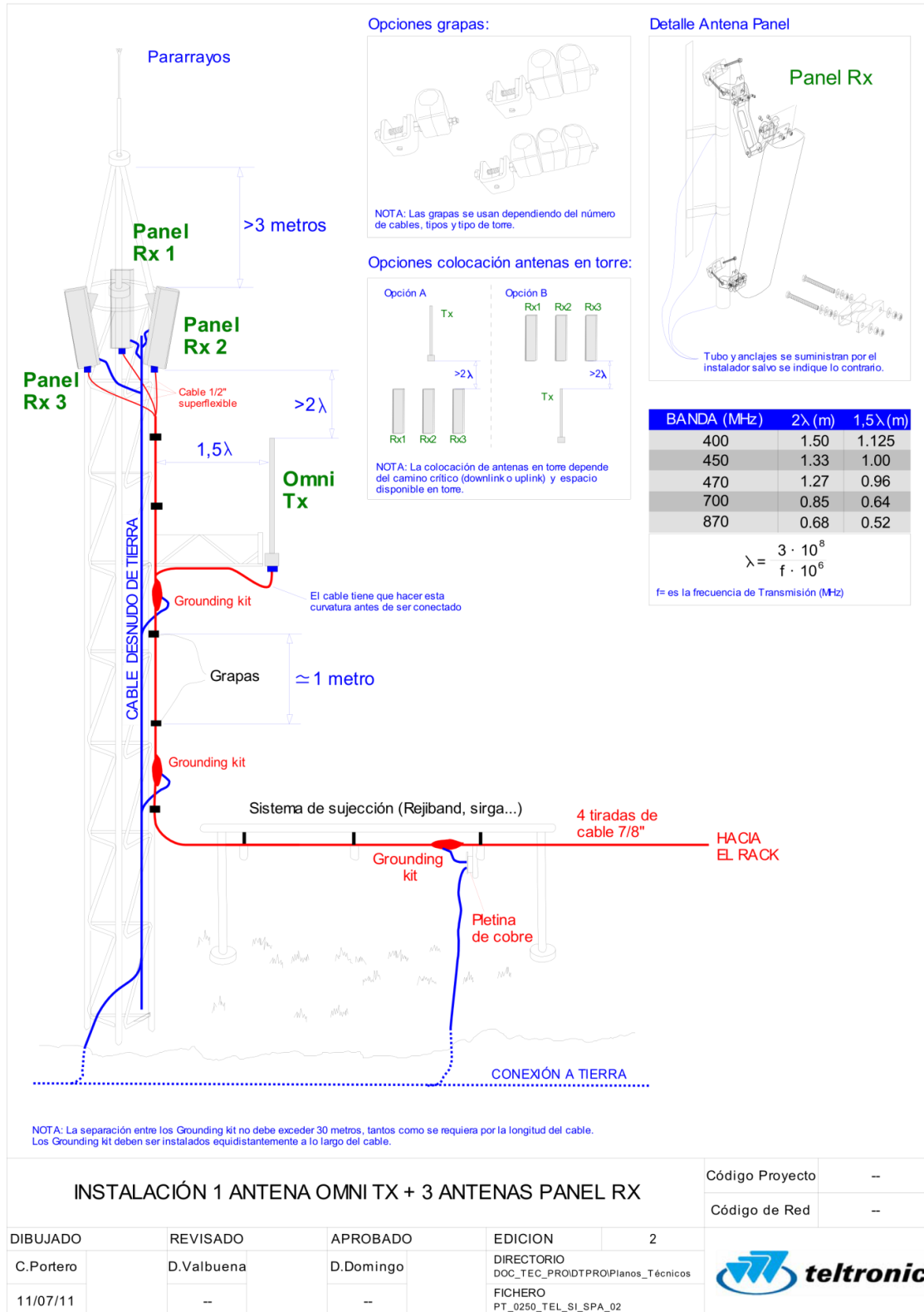
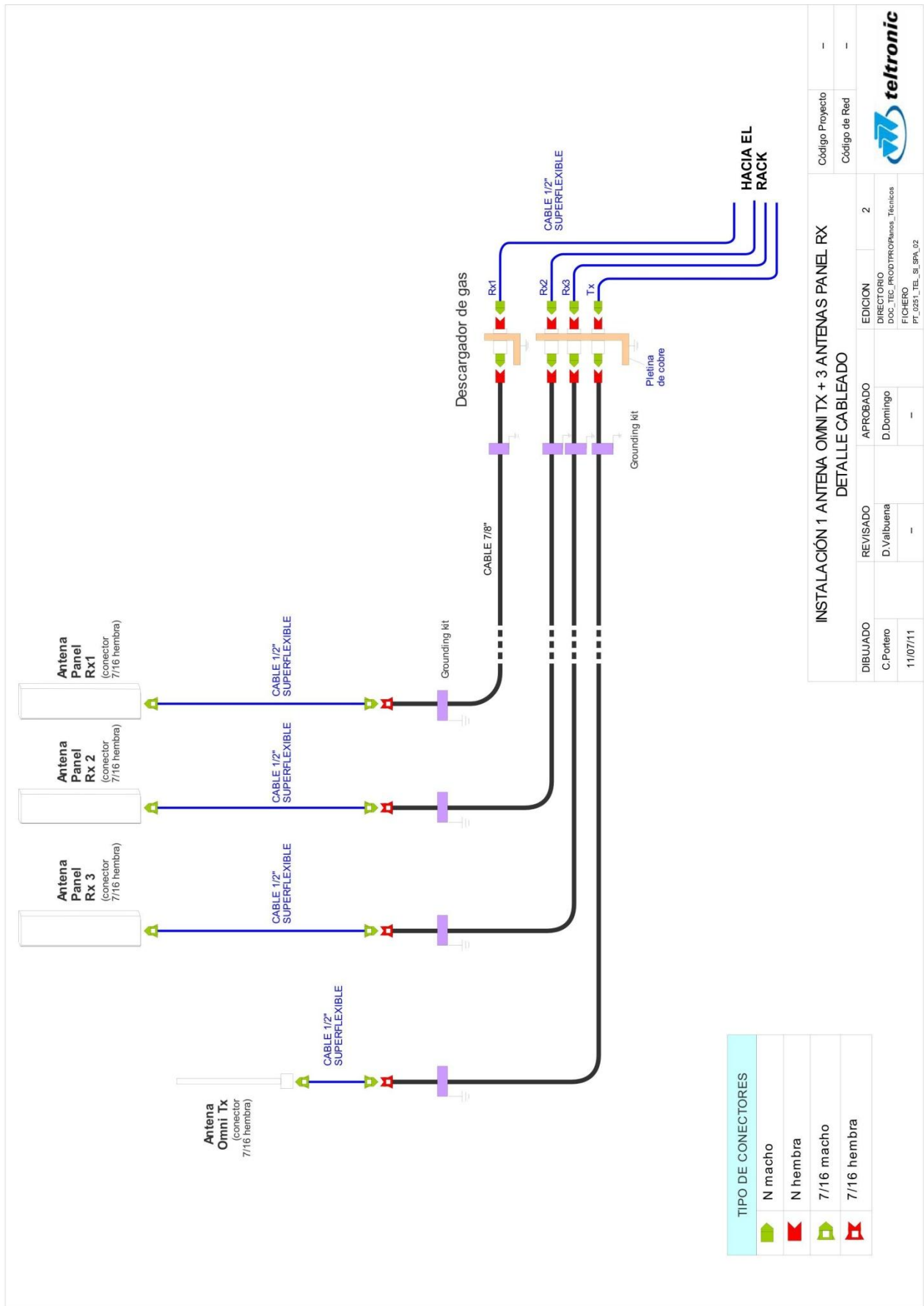


Imagen 33.- Ejemplo de instalación de 2 MBS

ANEXO 2. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE LAS ESTACIONES BASE DE ALTA CAPACIDAD (SBS)





TIPO DE CONECTORES
N macho
N hembra
7/16 macho
7/16 hembra

DIBUJADO		REVISADO	APROBADO	EDICIÓN	2	Código Proyecto	-
C.Portero	D.Valbuena	D.Domingo		DIRECTORIO		Código de Red	-
11/07/11				DIC_1107_11C_PROD/TRO/Planos_Técnicos			
				FICHERO	PL_2095_1_TEL_8I_99A_02		



ANEXO 3. ANTENAS DE LAS ESTACIONES BASE



Antenna with 7-16 DIN female connector **K751637**
 Antenna with N female connector **K751631**

Omnidirectional Antenna
380–400 MHz

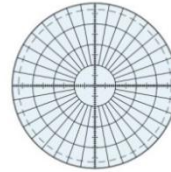
Kathrein's omnidirectional antennas incorporate the quality design and attention to detail that have established our entire line of professional base station antennas as industry leaders. These antennas feature:

- Proven, solid construction, with special attention directed towards the custom fiberglass radome which provides superior stiffness and low tip deflection at wind velocities of up to 120 mph.
- Superior electrical performance, with low VSWR, wide bandwidth, flat frequency response, and extremely low intermodulation products.
- Excellent DC grounding from the solid metal tip to the base.
- Simple, integrated mast attachment system, consists of only two V-bolts, which connect directly to the base.

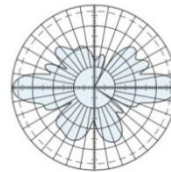
Specifications:

Frequency range	380–400 MHz
Gain	7.5 dBi
Impedance	50 ohms
VSWR	< 1.5:1
Intermodulation (2x20w)	IM3: < -150 dBc
Polarization	Vertical
Maximum input power	500 watts (at 50°C)
H-plane beamwidth	Omni
E-plane beamwidth	17 degrees (half power)
Connector	N or 7-16 DIN female
Weight	17.6 lb (8 kg)
Height	111.8 inches (2840 mm)
Radome diameter	2 inches (51 mm)
Wind load	at 93 mph (150kph) 45 lbf / 200 N
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	130.6 x 5.8 x 4.4 inches (3316 x 148 x 112 mm)
Shipping weight	22 lb (10 kg)
Mounting	For masts of 2 to 3.7 inch (50 to 94 mm) OD.

*Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in TIA-222-G-2 (December 2009) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



H-plane
Horizontal pattern – V-polarization



E-plane
Vertical pattern – V-polarization



Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
 Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

The Kathrein 739 506 directional panel antenna is intended for use in professional fixed-station applications in the 380–430 MHz band. It features:

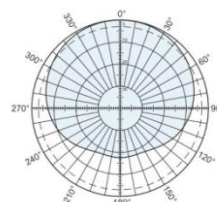
- ▮ Heavy-duty stainless steel and aluminum construction throughout.
- ▮ Excellent bandwidth and VSWR specifications.
- Silver plated copper radiators.
- ▮ Heavy fiberglass radome assures excellent performance in heavy icing conditions.
- ▮ All metal parts at DC ground potential.
- ▮ Multiple antennas may be used to meet a variety of radiation patterns.

Specifications:

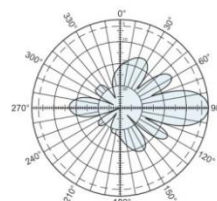
Frequency range	380–430 MHz
Gain	11.5 dBi
Impedance	50 ohms
Intermodulation (2x20w)	IM3: <-150 dBc
VSWR	<1.5:1
Polarization	Vertical
Front-to-back ratio	>18 dB
Maximum input power	500 watts (at 50° C)
H-plane beamwidth	115 degrees (half-power)
E-plane beamwidth	18 degrees (half-power)
Connector	7-16 DIN female
Weight	19.8 lb (9 kg)
Dimensions	124 lbf / 57 lbf / 210 lbf (550 N) / (250 N) / (930 N)
Wind load	at 93 mph (150kph)
Front/Side/Rear	77 lbf / 50 lbf / 169 lbf (340 N) / (220 N) / (750 N)
Mounting category	M (Medium)
Wind survival rating*	120 mph (200 kph)
Shipping dimensions	81.2 x 10.7 x 6.3 inches (2062 x 272 x 160 mm)
Mounting	Fixed and tilt-mount options are available for 2 to 4.6 inch (50 to 115 mm) OD masts.

See reverse for order information.

* Mechanical design is based on environmental conditions as stipulated in TIA-222-G-2 (December 2009) and/or ETS 300 019-1-4 which include the static mechanical load imposed on an antenna by wind at maximum velocity. See the Engineering Section of the catalog for further details.



H-plane
Horizontal pattern – V-polarization

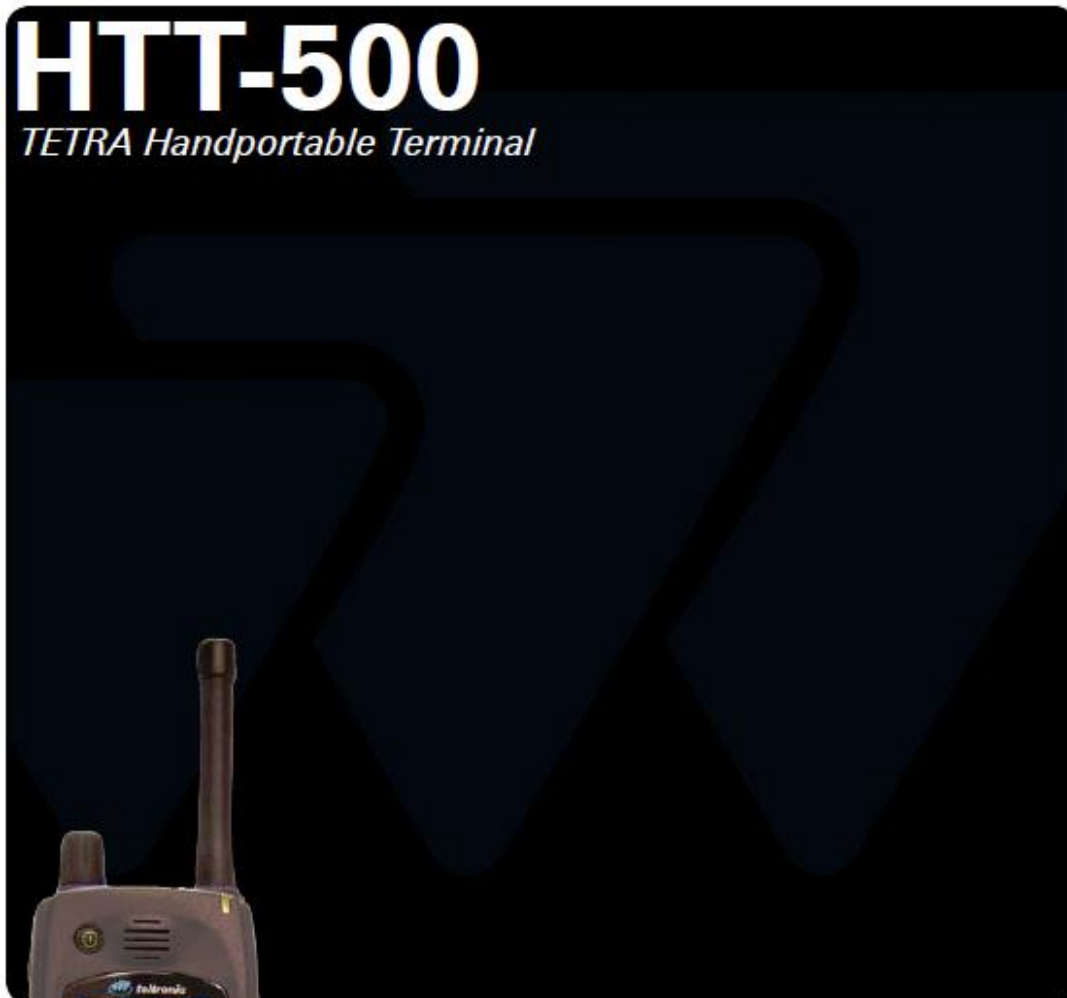


E-plane
Vertical pattern – V-polarization



Kathrein Inc., Scala Division Post Office Box 4580 Medford, OR 97501 (USA) Phone: (541) 779-6500 Fax: (541) 779-3991
Email: communications@kathrein.com Internet: www.kathrein-scala.com

ANEXO 4. TERMINALES



The HTT-500 portable radio is all about coverage, audio quality and reliability.

It packs a unique 3 watts of RF output for improved coverage, 1 watt of audio, 18+ hours of battery power and is set to go with the latest features including Bluetooth® connectivity, WAP browser, GPS module and man-down capability. The HTT-500 is solid, tough and durable, yet small and light-weight. Its intuitive, graphical colour interface is easy to learn and efficient even in an emergency.



Technical Characteristics

General

- Dimensions (H x W x D): 144.2 x 59 x 37mm
- Weight: approx 350 g
- Audio output: 1W
- Battery life 5/5/90 (1W): >18h
- Battery life 5/5/90 (3W): >14h
- Display: Graphical colour TFT 1.8" (128 x 160 pixels, 65,000 colours)

RF features

- Class 3 TX output power: from 15dBm to 35 dBm (3W)
- Class A receiver
- Static sensitivity: -112dBm minimum
- Dynamic sensitivity: -103dBm minimum

Frequency bands

- 380-430 MHz
- 410-470 MHz
- 806-870 MHz

Services Supported

Mobility management

- Registration / Deregistration
- Cell reselection (handover)
- Air interface migration and multiple manual network selection

Security services

- Authentication (terminal and mutual)
- Air interface encryption security class:
 - Class 1: Clear
 - Class 2: SCK
 - Class 3: DCK
- Algorithms: TEA1, TEA2 and TEA3
- OTAR (Over The Air Rekeying)
- Enable/disable (temporary and permanent)
- End-to-end encryption
- PIN / PUK

Voice services

- Individual half-duplex calls with direct / hook signalling
- Individual duplex calls
- Group call: 2500 talk groups (for TMO / DMO or both)
- Broadcast call
- Phone calls (PSTN / PABX). DTMF transmission
- Emergency call (type and destination address programmable)
- Multiple scan lists

DMO Services

- Individual and group calls
- Broadcast call
- Emergency call
- SDS (Type 1, 2, 3 and 4)
- Immediate SDS
- Status messages
- End-to-end encryption

MMI languages

English, Spanish, French, German, Dutch, Polish, Portuguese, Russian, Chinese, Korean and Arabic. Consult for others.

Multiple Configurations

- Basic
- GPS
- Bluetooth®
- GPS and Bluetooth®
- End-to-end encryption and GPS

Supplementary services include:

- Dynamic Group Number Assignment (DGNA)
- Late entry
- Calling line identification
- Talking party identification
- Priority call
- Pre-emptive priority call
- Ambience listening
- Call Authorised by Dispatcher (CAD)
- Transmit inhibit (TxI)
- Call register

Data services include:

- Status to individual or group address
- SDS (Type 1, 2, 3 and 4) to individual or group address (with or without TL)
- Concatenated SDS
- Immediate SDS
- Secondary control channel support (up to 3)
- Simultaneous status and SDS data on a voice call
- Circuit mode data
- Multi-slot packet data (up to 4 slots)
- Inbox of up to 50 status
- Inbox of up to 50 SDS
- 100 pre-programmed status
- Outbox up to 15 SDS
- WAP browser
- Inquiry method
- Enhanced PEI port

Headquarters

Teltronic S.A. Unipersonal
 P.I. Malpica c/F Oeste
 50057 Zaragoza, SPAIN
 T: +34 976 465656
 F: +34 976 465720
 cial@teltronic.es
 www.teltronic.es



All Teltronic products are in essential research and development. We wish to reserve the right to modify these characteristics. ITT 1402_01_0211

MDT-400

TETRA Mobile Radio



Unique in its class, the Teltronic MDT-400 mobile radio provides the coverage and versatility that makes a difference. Its 10 watts of RF output power provides the best coverage available on the TETRA market by far. Then, add specialised off-the-shelf solutions and a remarkably flexible design that can be tailored for complex applications such as telemetry. Now, you can begin to appreciate why the MDT-400 mobile unit is being used in so many networks around the world.



Technical Characteristics

General

- Dimensions (H x W x D):
177 x 163 x 47.5 mm (radio only)
195 x 163 x 61 mm (with front panel)
300 x 320 x 110 mm (desktop radio dispatcher)
- Weight:
1230 g (radio only)
1400 g (with front panel)
5000 g (desktop radio dispatcher)
- Audio output: 5W
- Consumption: 4A typically (5A @ 10W RF Tx)
- Power supply voltage:
10.8 to 15.6 VDC (radio unit)
100 to 250 VAC (desktop radio dispatcher)

RF features

- Class 2 TX output power: from 15dBm to 40 dBm (10W)
- Class A receiver
- Static sensitivity: -112dBm minimum
- Dynamic sensitivity: -103dBm minimum

Frequency bands

- 350-370 MHz
- 380-400 MHz
- 410-430 MHz
- 450-470 MHz
- 806-870 MHz

Services Supported

Mobility management

- Registration / Deregistration
- All types of cell reselection (handover)
- Air interface migration and multiple manual network selection

Security services

- Authentication (terminal and mutual)
- Air interface encryption security class:
 - Class 1: Clear
 - Class 2: SCK
 - Class 3: DCK
- Algorithms: TEA1, TEA2 and TEA3
- OTAR (Over The Air Rekeying)
- Enable/disable (temporary and permanent)
- End-to-end encryption
- PIN / PUK

Voice services

- Individual half-duplex calls with direct / hook signalling
- Individual duplex calls
- Group call
- Broadcast call
- Phone calls (PSTN / PABX). DTMF transmission
- Emergency call (type and destination address programmable)
- Multiple scan lists

Supplementary services include:

- Dynamic Group Number Assignment (DGNA)
- Late entry
- Calling line identification
- Call forwarding
- Talking party identification
- Priority call
- Pre-emptive priority call
- Ambience listening
- Call Authorised by Dispatcher (CAD)
- Transmit inhibit (TxI)
- Call register
- Discreet mode
- User Logging
- FFSN / simple offset dialling

Data services include:

- Status to individual or group address
- SDS (Type 1, 2, 3 and 4) to individual or group address (with or without TL)
- Concatenated SDS
- Immediate SDS
- Secondary control channel support (up to 3)
- Simultaneous status and SDS data on a voice call
- Circuit mode data
- Multi-slot packet data (up to 4 slots)
- Inbox of up to 50 status
- Inbox of up to 50 SDS
- 100 pre-programmed status
- Outbox up to 15 SDS
- Enhanced PEI port (AT / TNP1 commands)
- Inquiry method

DMO Services

- Individual and group calls
- Broadcast call
- Emergency call
- SDS (Type 1, 2, 3 and 4)
- Immediate SDS
- Status messages
- End-to-end encryption
- DMO Gateway Functionality

MMI languages

English, Spanish, French, German, Dutch, Polish, Portuguese, Russian, Chinese, Korean and Arabic. Consult for others.



All Teltronic products are by copyright reserved and developed in Spain. We would like to reserve the right to modify specifications without notice.

Headquarters

Teltronic S.A. Unipersonal
P.I. Malpica c/F Oeste
50057 Zaragoza, SPAIN
T: +34 976 465656
F: +34 976 465720
cial@teltronic.es
www.teltronic.es