



UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

Trabajo de Diploma

Propuesta para la implementación del sistema
trunking digital eLTE de Huawei.

Autor: Yanamaris Ravelo Pérez

Email: yanamarisr@nauta.cu

Tutor (es): MSc. Mario A. Gonzalez Cartas

Email: mgcartas@uclv.edu.cu

Ing. José Carlos Cruz Sandoval

Santa Clara, Cuba

2017

“Año 59 del Triunfo de la Revolución ”



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

La ciencia avanza a pasos, no a saltos.

Tomas Macaulay

DEDICATORIA

A mis padres que han sido un pilar de apoyo en este camino largo y
trabajoso que ha sido mi educación.

A mi esposo que me ha brindado su comprensión y apoyo
incondicional.

A mis familiares y amigos que de una forma u otra han
contribuido a la conclusión de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

A mí tutor Mario A. Gonzales Cartas por su tiempo, guía y apoyo profesional.

A José Carlos Cruz Sandoval por su ayuda en la confección de este material.

A mis profesores, amigos y compañeros de curso que me brindaron su apoyo a lo largo de estos años.

A mis padres que siempre creyeron en mí y me convirtieron en lo que soy hoy.

A todos los que de una forma u otro ayudaron en la confección de este material.

TAREAS TÉCNICAS

1. Realizar un estudio sobre los sistemas *trunking* existentes.
2. Caracterizar el sistema *trunking* eLTE.
3. Analizar las ventajas del sistema *trunking* eLTE.
4. Plantear los requerimientos necesarios para la implementación del sistema *trunking* eLTE.
5. Definir las posibles aplicaciones que se puedan implementar del sistema *trunking* eLTE.
6. Diseñar una arquitectura de red para la implementación.

RESUMEN

En el marco de las comunicaciones móviles privadas, nuestro país presenta una infraestructura obsoleta bajo el uso del sistema *trunking* MPT 1327. Esto resulta contraproducente para el proceso de desarrollo económico que se ocurre en el país, donde una eficiente infraestructura de comunicaciones es vital. Por lo tanto resulta necesario que el actual sistema sea migrado hacia un sistema *trunking* digital.

En este trabajo se presenta la tecnología e-LTE de Huawei, como propuesta para la reconversión tecnológica de la red *trunking* nacional, por lo que se define como objetivo principal caracterizar dicha tecnología. Además, se describen los principales sistemas *trunking* existentes, ya sea libres o propietarios, con vista a crear un marco teórico que valide la pertinencia de la propuesta realizada. Para finalizar se diseña una propuesta para la implementación de eLTE en Cuba tomando en cuenta algunos ejemplos de implementación de este tipo de tecnología, proporcionados por la empresa Huawei. Con este trabajo queda demostrada la validez de la propuesta desde los aspectos técnicos así como logísticos y organizativos que puede dar la propia empresa Huawei mediante su experiencia.

Palabras Claves: Comunicaciones móviles privadas, Sistemas *trunking*, *trunking* digital, MPT 1327, e-LTE, Huawei.

ÍNDICE

PENSAMIENTO.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
TAREAS TÉCNICAS	6
RESUMEN.....	7
ÍNDICE	8
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Introducción a los sistemas <i>trunking</i>	4
1.1. Sistemas Trunking.....	4
1.1.1. Bandas de frecuencias de PMR.....	5
1.1.2 Arquitectura de una red <i>trunking</i>	5
1.2. Tipos de sistemas <i>trunking</i>	7
1.2.1. NXDN.....	8
1.2.2. GoTa.....	9
1.2.3. DMR.....	10
1.2.4. TETRA.....	12
1.2.5. Project 25.....	14
1.3. MPT 1327.....	15
1.3.1. Señalización en MPT 1327.....	16
1.3.2. Identificación del sistema <i>trunking</i> MPT 1327.....	17
1.3.3. El MPT 1327 en Cuba.....	18
1.4. Evolución de los sistemas <i>trunking</i> hacia eLTE.....	19
CAPÍTULO 2. Sistema <i>trunking</i> digital eLTE.....	21
2.2. Características técnicas de eLTE.....	22
2.3. Arquitectura de red de eLTE.....	23
2.4. eWBB LTE.....	24
2.4.1. Características.....	26

2.4.2.	Topología	27
2.4.3.	eCN.	29
2.4.4.	eOMC.	30
2.4.5.	MTD.	30
2.4.6.	Consola de despacho.	31
2.4.7.	eNodoB.	31
2.5.	eRelay.	32
2.5.1.	Características y ventajas de eRelay	34
2.6.	Aplicaciones de eLTE	35
2.6.1.	Voz <i>trunking</i>	35
2.6.2.	DMO	37
2.6.3.	Posicionamiento.....	37
2.6.4.	Video vigilancia.....	38
2.6.5.	Una misma red para varios departamentos.....	39
2.7.	Seguridad en eLTE.....	39
2.7.1.	Autenticación y cifrado de interfaz de radio.	39
2.7.2.	Seguridad de transmisión.	41
CAPÍTULO 3. Propuesta para la implementación del sistema <i>trunking</i> digital eLTE.		43
3.1.	Requerimientos a tener en cuenta.	43
3.2.	Diseño propuesto de la red.....	45
3.3.	Propuesta para el uso de aplicaciones.	48
3.3.1.	Voz <i>Trunking</i>	48
3.3.2.	DMO.....	48
3.3.3.	Posicionamiento.	49
3.3.4.	Video Vigilancia.	50
3.3.5.	Una misma red compartida por varios departamentos.....	52
3.3.6.	Interconexión con otros sistemas.....	52
3.4.	Confiabilidad de diseño de eLTE.	53
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
BIBLIOGRAFÍA.....		57
ANEXOS.....		59

INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de las últimas décadas se ha sido testigo del notable crecimiento alcanzado en la investigación, desarrollo e implementación de redes de comunicaciones móviles, tanto pública como privada. Actualmente la penetración de estas redes en el mercado y sus prestaciones han sobrepasado las predicciones más optimistas, erigiéndose paradigma en la historia del desarrollo tecnológico [1].

Las redes *trunking*, como subconjunto de las comunicaciones móviles, fueron desplegadas extensamente como sistema de comunicación profesional antes de constituir en la actualidad un sistema de comunicación tan popular. Los sistemas de concentración de enlaces, como también se les conoce, son capaces de proveer servicios de despacho para corporaciones, departamentos gubernamentales, congregaciones comunitarias, emergencias, al ejército, la policía, el transporte, entre otras, con las características de una rápida coordinación y alta eficiencia. Estas características no pueden ser reemplazadas por otros sistemas de comunicaciones móviles, de esta forma permanecerán siendo dominantes en los mercados de comunicación profesional [1].

Una red *trunking* es un sistema dinámico de asignación de canal, es decir, las decisiones sobre la asignación de frecuencia son realizadas automáticamente por un centro de control. Este sistema le permite al usuario realizar una llamada sin necesidad de averiguar si el canal de radiofrecuencia está libre. En él se permite que un gran número de usuarios compartan un número relativamente pequeño de enlaces de comunicación [1].

Tomando en cuenta el avance de la digitalización mundial y la variedad de servicios que presenta ETECSA, las prestaciones que brindan el sistema *trunking* MPT 1327, actualmente funcionando en Cuba, son insuficientes. Por lo tanto resulta necesario, para brindar mayores servicios con valor agregado a los clientes existentes y para aumentar el número de los mismos, que el actual sistema *trunking* MPT 1327 sea migrado hacia un sistema *trunking* digital. Enfocado en este empeño en la UCLV (Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas) se realizó en el año 2008 un trabajo de diploma titulado: “Proyecto de digitalización de la red *trunking* de Movitel SA” donde se presentó una propuesta de migración del sistema *trunking* MPT 1327 hacia un sistema *trunking* digital. A pesar de ser una propuesta acertada en su momento no se implementó la solución.

Actualmente la empresa Movitel ha dado pasos hacia el recambio tecnológico necesario en el país y ha iniciado contactos con Huawei. Esta es una empresa china que propone un sistema *trunking* propietario basado en LTE que responde a los actuales avances tecnológicos. Así, basado en el contexto anterior, se formula la siguiente interrogante científica: ¿Cómo contribuir al proceso de recambio tecnológico de las redes *trunking* de Cuba?

Para dar respuesta al problema científico planteado, se proponen los siguientes objetivos.

Objetivo general:

Definir una propuesta para la implementación del sistema *trunking* digital eLTE de Huawei.

Objetivos Específicos:

- I. Describir los sistemas *trunking* existentes, tanto analógicos como digitales.
- II. Caracterizar el sistema *trunking* digital eLTE de Huawei.
- III. Describir una propuesta para implementar el sistema *trunking* eLTE en Cuba

Con la realización de este trabajo investigativo quedará caracterizada la tecnología eLTE de Huawei lo que servirá de material de consulta de los especialistas de Movitel. Además se ofrece una propuesta para una futura implementación de dicha tecnología en el país.

El contenido de este trabajo se ha estructurado en tres capítulos:

Capítulo 1 Introducción a los sistemas *trunking*.

Se dedicará a la caracterización de los sistemas *trunking* y al estudio comparativo de los distintos estándares, tanto digitales como analógicos, que forman parte del mismo y se usan en la actualidad, tanto en Cuba como el resto del mundo.

Capítulo 2 Sistema *trunking* digital eLTE.

Se describirán las principales características del sistema *trunking* digital eLTE de Huawei.

Capítulo 3 Propuesta para la implementación del sistema *trunking* eLTE

Se diseñará la propuesta para su implementación en Cuba definiendo los requisitos a cumplir y las posibles aplicaciones de la tecnología.

El trabajo también contará de conclusiones donde se establecerá un análisis crítico de los resultados obtenidos en correspondencia con los objetivos trazados. También presentará recomendaciones que tomarán en consideración aquellos aspectos que puedan enriquecer y

perfeccionar el estudio realizado en futuras investigaciones. Además, tendrá recomendaciones bibliográficas en las que se conformará un listado de la bibliografía consultada siguiendo las normas establecidas. Los anexos incluirán aquellos aspectos del trabajo que, por su longitud o complejidad, no se incluyen en el texto de la tesis pero que auxilian a una mejor comprensión de lo que se expone en ella.

CAPÍTULO 1. Introducción a los sistemas *trunking*.

Los sistemas de radiotelefonía móvil privada, denominados de forma abreviada sistemas PMR (Private Mobile Radio) son redes de comunicaciones móviles que se utilizan en tareas de despacho para la gestión y control de la actividad de flotas de vehículos. Sus aplicaciones son muy variadas, como, por ejemplo, los servicios públicos de distribución de agua, gas, electricidad, la policía, los bomberos, las ambulancias, protección civil, vigilancia, servicios de mantenimiento, control de tráfico, empresas, etc. En estos sistemas el control se efectúa sobre zonas geográficas limitadas y la red de comunicación no está conectada expresamente a la red telefónica pública. Dentro de sus modalidades se encuentran los sistemas de concentración de enlaces, denominados también sistemas *trunking* [1].

1.1. Sistemas *trunking*

El sistema de radio *trunking* es un sistema de comunicaciones radioeléctricas, donde se utilizan técnicas convencionales o basadas en el uso de frecuencias comunes, las que proporcionan servicios de comunicaciones móviles de voz punto a punto múltiples o viceversa. Esta es una modalidad mediante la cual se trasmite mensajes cortos de control a través de un radiocanal para la señalización, así como la operación y/o comunicación entre los abonados del sistema, sin acceso a la red telefónica pública conmutada [2].

En este sistema un número reducido de canales radioeléctricos es compartido entre un gran número de usuarios, conformando grupos privados de comunicación, en donde cualquier usuario tiene acceso a los diferentes canales a través de selección automática del que se encuentre libre. En estos sistemas la asignación de frecuencias a los usuarios se realiza de forma dinámica, asignándose un canal cuando hay demanda solamente, lo cual minimiza el tiempo de desocupación del canal, pues cada usuario sólo utiliza el canal durante el tiempo de conversación, cuando ésta finaliza, el canal se libera, retornando a la reserva para que pueda ser asignado a otro usuario. Cuando todos los canales están ocupados las llamadas que se producen no se pierden, sino que son puestas en una cola de espera, de donde se efectúan atendiendo al orden de llegada o prioridad de la misma a medida que se liberen los canales [2].

El canal de control es por el que realizan la señalización de establecimiento de la comunicación los sistemas *trunking*. A diferencia de otros sistemas la gestión de comunicaciones en una red *trunking* se requiere de un centro de control inteligente que disponga del estado real de equipos conectados a la red, canales utilizados, equipo en

comunicación, etc. Cuando se necesita realizar el envío de estados a una central se hace uso del canal de control al cual están conectados los equipos, esperando enviar o recibir órdenes de establecimiento de llamadas. De esta forma se agiliza el envío de información sin necesidad de utilizar canales de tráfico [2].

El canal de control utilizado para la señalización asociada al sistema puede ser de dos tipos:

- **Canal dedicado:** Se emplea de forma permanente para la función de control.
- **Canal variable:** Cuando todos los canales de tráfico están ocupados, se utiliza el canal de control como un canal más de tráfico. El primer canal que quede libre será asignado como canal de control, al cual accederán los móviles mediante un mecanismo de exploración secuencial [2].

1.1.1. Bandas de frecuencias de PMR.

El uso del espectro radioeléctrico es un recurso natural que el estado maneja según convenga a sus intereses. Aun así, las implementaciones de algunos sistemas de radiocomunicaciones ya definen las bandas de frecuencias a emplear. En el caso de los sistemas PMR convencionales y de *trunking* estos hacen uso de las bandas designadas para los sistemas LMR (Land-Mobile Radio) además de incluir en algunas regiones la banda de 300 – 450 MHz. A continuación, se muestra la distribución de las bandas de frecuencias en el espectro radioeléctrico [1].

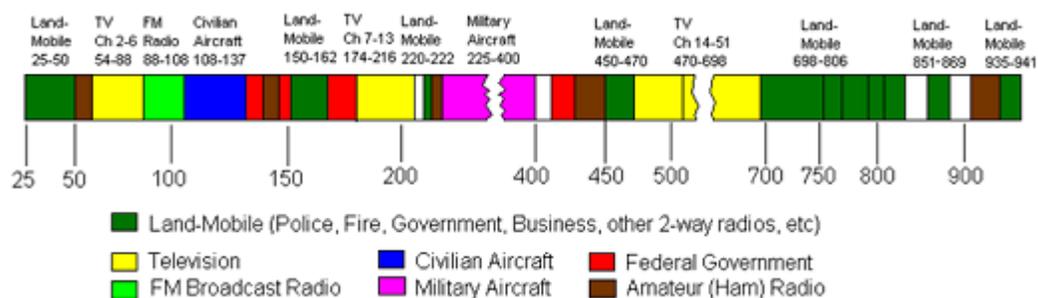


Figura 1.1: Distribución del espectro radioeléctrico [1]

1.1.2 Arquitectura de una red *trunking*.

Dentro de la organización típico de una red *trunking* podemos encontrar elementos indispensables como son un NC (nodo central) con la responsabilidad del control de la red y una serie de EBZ (estaciones bases de zona) conectadas al NC a través de los enlaces de control. El sistema de gestión está conectado al NC a través del cual tiene acceso a las

informaciones de la red y puede actuar sobre los elementos. A esta configuración se le denomina monoemplazamiento. Las estructuras multiemplazamientos son utilizadas en caso que se requieran coberturas de gran extensión, es decir, varios nodos.

Terminales que se pueden conectar al nodo [2]:

Estaciones bases, conectadas mediante líneas telefónicas o radioenlaces punto a punto.

Terminales telefónicos directos, conectados por línea.

PBX (*Private Branch Exchange*).

Terminales de despacho, conectados por línea o radio.

Terminal de explotación del sistema, con conexión directa si es local o a través de MODEM si es remoto.

Conexiones a otros nodos.

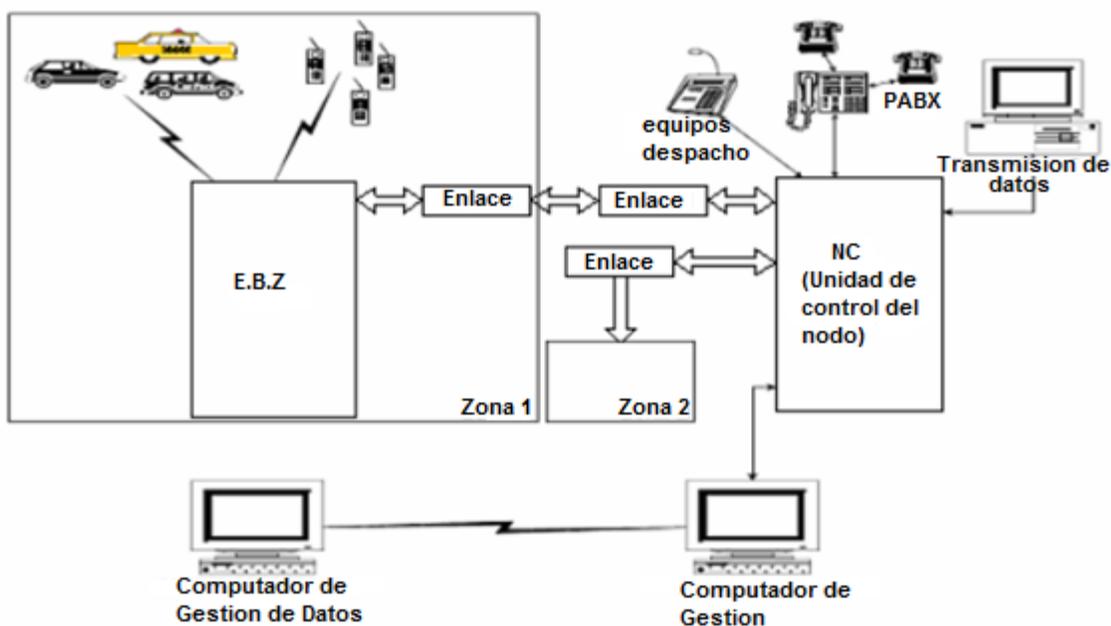


Figura 1.2: Red trunking [2]

Se puede decir que, a nivel mundial, salvo excepciones comerciales puntuales, y debido a sus capacidades específicas, estos sistemas se diseñan y asignan ampliamente para aplicaciones de misión crítica (industria minera, petrolera, etc.) y fundamentalmente para seguridad pública.

Su uso más intensivo comenzó en la década del 80 (aunque su desarrollo es incluso anterior) siendo comercializado por diversos fabricantes de primera línea a nivel

internacional, entre los que actualmente se pueden contar a Motorola, Johnson, Harris, Teltronic, Simoco y Tait, entre los más preponderantes [3].

1.2. Tipos de sistemas *trunking*.

Como evolución natural de las redes *trunking* analógicas, surgieron las digitales, donde se abandona la modulación analógica y se sustituye por la modulación digital, tanto para voz como para datos. Esta evolución está marcada por la necesidad de dar respuesta a los cambios tecnológicos y nuevos requerimientos funcionales que se solicitaban desde los usuarios tradicionales de las redes profesionales. En muchos casos la mayor exigencia venía dada por el sector de emergencias y seguridad, que plantean necesidades tales como una mayor confidencialidad en las comunicaciones mediante cifrado, distintos niveles de gestión de llamadas, llamadas de grupo, combinación de flotas, distintos niveles de prioridad de llamadas, una mayor tasa de transferencia de datos y envío de paquetes de datos [4].

Algunas de las normas analógicas y digitales existentes son:

1. NXDN (Digital, Japón)
2. Motorola (Americano)
 - Type I
 - Type II
 - Type II Hybrid
 - Type II Smart Zone
 - Type II Smart Zone Omni Link
 - iDEN (integrated Digital Enhanced Network)
3. MPT-1327 (Analógico)
4. APCO Project 16 (Analógico, Americano)
5. APCO Project 25(Digital, Patente Americano)
6. TETRA (Digital, Europeo)
7. TETRAPOL (Digital, Europeo)
8. GoTa (Digital 3G)
9. DMRTier III (Digital, Europeo)

- dPMRMode 3

10. eLTE - (Digital 4G, Chino)

A continuación se mencionaran elementos distintivos de varias de las normas analógicas y digitales antes mencionadas.

1.2.1. NXDN.

NXDN es un protocolo técnico CAI (*Common Air Interface*) propietario para las comunicaciones móviles. Fue desarrollado conjuntamente por Icom Inc y por Kenwood Corporation e implementado en sus respectivos sistemas. Actualmente tanto Icom como Kenwood ofrecen equipos de doble estándar que soportan el estándar europeo dPMR (*Digital Private Movil Radio*). El protocolo NXDN se anunció en 2005, y los productos compatibles con NXDN aparecieron por primera vez en 2006.[5]

El protocolo NXDN y los productos de comunicaciones en los que se utiliza con fines comerciales están destinados a PLMR (Private Land Mobile Radio) y los sistemas de comunicaciones de seguridad pública de gama baja. La tecnología satisface al mandato del FCC (Federal Communications Commission) de EE.UU. que requirió que todos los sistemas de comunicaciones cubiertos por el reglamento Parte 90 usase la tecnología de banda estrecha para el 1 de enero de 2013. El reglamento Parte 90 especifica un ancho de banda de 12,5 KHz, pero la FCC insta enérgicamente a los autorizados a considerar migrar directamente a la tecnología de 6,25 KHz en lugar de adoptar la primera tecnología de 12,5 kHz y más tarde migrar a la tecnología de 6,25 KHz.

El protocolo NXDN proporciona soporte para las siguientes funciones [5]:

- Cifrado de voz digital con una clave de 15 bits de 32.768 códigos diferentes.
- Paginación y Estado de informes Radio-a-Radio y Despacho-a-Radio.
- Alias de usuarios: 65,545 diferentes de identificación de ID de grupo y de usuario.
- Hombre caído y llamada de emergencia.
- Funciones de gestión remota de radio (desactivación, reactivación y el monitoreo).
- Interfaz de aplicaciones de terceros para: paginación de radio, la localización del GPS, terminales de datos taxi, en el seguimiento de construcción.

NXDN utiliza la tecnología FDMA (Frequency Division Multiple Access), en la que diferentes flujos de comunicación están separados por frecuencia y se ejecutan simultáneamente. El canal básico NXDN es digital y puede ser o bien 12,5 KHz o 6,25 KHz de ancho. Los sistemas de dos canales de 6,25 KHz se pueden configurar para caber dentro de un canal de 12.5 KHz. Esto duplica efectivamente la eficiencia del espectro en comparación con un sistema FM (Frecuencia Modulada) analógico que ocupe un canal 12.5 KHz. La arquitectura de NXDN es tal que dos canales NXDN, dentro de un canal de 12,5 KHz, pueden ser asignados como voz - voz, voz- datos, o datos - datos.

Los equipos NXDN son actualmente aceptados por la FCC para su uso en VHF (136-174 MHz) y UHF (400-520 MHz). Las siguientes designaciones de emisión del FCC se aplican a las transmisiones NXDN [5]:

- 8K30F1E 12,5 KHz solo canal de voz digital.
- 8K30F1D 12,5 KHz solo canal de datos digital.
- 8K30F1W 12,5 KHz solo canal digital de voz y datos.
- 4K00F1E 6,25 KHz de un solo canal de voz digital.
- 4K00F1D 6,25 KHz de un solo canal de datos digital.
- 4K00F1W 6,25 KHz solo canal digital de voz y datos.
- 4K00F2D 6,25 KHz solo canal analógico.

1.2.2. GoTa.

GoTa (*Global open Trunking architecture*) es una nueva generación de sistema de *trunking* digital usando tecnología del CDMA2000 y es diseñado para los usuarios corporativos. Presenta conexión instantánea con miembros del grupo, y su recurso compartiendo tecnología provee eficiencia mejorada de la red y ahorros de costos [6].

Al ser un sistema CDMA (*Code Division Multiple Access*) permiten que muchos usuarios compartan una asignación de espectro común mediante el uso de técnicas espectro ampliado.

A continuación se presentan algunas ventajas del sistema GoTa [6]:

- El radio de cobertura es de 2-4 mayor que GSM (*Global System for Mobile*) empleando la misma frecuencia de radio.

- Una llamada del grupo PTT (*Push to talk*) puede soportar aproximadamente a 100 suscriptores.
- Soporta diferentes bandas de frecuencias (450 MHz, 800 MHz, 1.9 GHz, 2.1 GHz).
- Mejor calidad de voz y la actuación de servicio de datos del paquete de velocidad alta basada en CDMA2000-1X (actualmente 153.6 Kbps; siguiente versión 307.2 Kbps).
- Más seguridad y atenuación de interferencias.
- Buena relación costo-eficiencia en la implementación de la red.
- Soporta el *roaming* de llamadas PTT.
- Rápida conexión y recursos de radios compartidos.
- Es fácil de usar, puede manejar fácilmente los grupos de llamadas y sabe cuándo los amigos están conectados o no.

1.2.3. DMR.

La DMR (*Digital Movil Radio*) fue originalmente desarrollada como un reemplazo directo de la radio móvil privada analógica para proporcionar soluciones de radio digital de bajo costo para el transporte y las utilidades. Ofrece una calidad de audio digital, una mejor eficiencia espectral, una mejor capacidad de datos y una mayor duración de la batería portátil, DMR ha ampliado su alcance a las comunicaciones críticas de negocio y comerciales.

El conjunto de normas DMR es desarrollado y gestionado por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) en relación con los miembros de los proveedores de la Asociación DMR, que también asegura interoperabilidad de múltiples proveedores y promueve la tecnología. Las normas se definen en "niveles" operacionales [7]:

Nivel I: Especifica la operación con corriente de corto alcance sin necesidad de licencia, principalmente para uso personal o recreativo.

Nivel II: Especifica la operación convencional en las bandas con licencia. Una licencia de un regulador nacional permite que los radios operen a una potencia superior, permitiéndoles transmitir a distancias más largas, y en una parte dedicada del espectro de radio.

Nivel III: Añade plena operación de *trunking* digital a nivel de capacidades II, basado en el *trunking* analógico de estándar abierto MPT1327, en el que los canales de radio que están disponibles pueden ser compartidos entre los usuarios de manera más eficiente.

DMR ofrece además una mejoría en la calidad de audio en rango apreciado de cobertura [8] tal como se muestra en la figura.

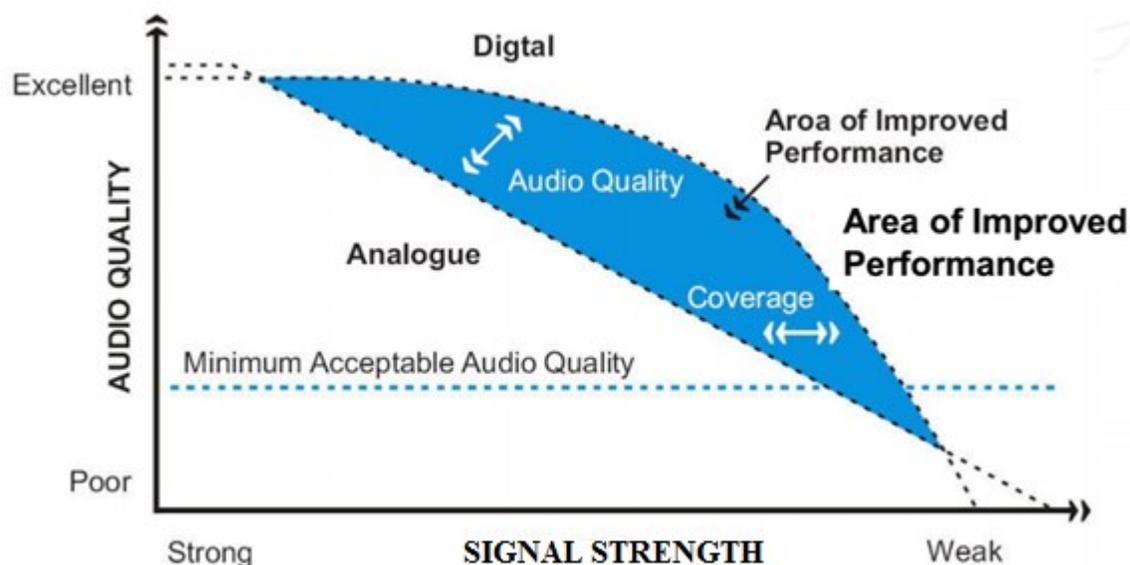


Figura 1.3: Calidad de audio en DMR [8]

Esta mejoría en la calidad del audio viene dada por:

- Claridad de audio en un área más extensa
- Percepción de una Mayor área de cobertura
- Eliminación de ruidos no deseados

En un sistema de troncales digitales dPMRMode 3, cuando un usuario solicita una llamada a través de un canal de control dedicado, el controlador del *trunking* asigna automáticamente uno de los canales de tráfico y establece la llamada. Además puede acomodar un gran número de usuarios en un número limitado de canales repetidores con alta eficiencia. El *software* de control del sistema puede interconectar múltiples controladores de enlace a través de una red IP (*Internet Protocol*), por lo que el sistema puede ampliarse desde un único sistema de sitio a varios sitios e incrementar la cobertura. El dPMRMode 3 utiliza un sistema de canal de control centralizado. El canal de control es independiente de los canales de tráfico y transmite continuamente una señal de control.

Este tipo de sistema es adecuado para controlar un gran número de usuarios y canales de tráfico congestionados. A continuación se listan algunas de sus características [9]:

- Hasta 32 canales por sitio.
- Hasta 32 sitios con el *Software* de Control del Sistema, CS-FC5000SCS.
- Sistema de licencias de canales. La llave de activación de cuatro canales se suministra con el IC-FC5000E.
- El *software* de gestión web CS-FC5000 permite conectar múltiples clientes.
- Llamadas individuales y de grupo.
- Llamada de estado.
- Mensaje corto de datos.
- Llamada de emergencia con pre-emisión.

1.2.4. TETRA.

TETRA (*Trans European Trunked Radio*) es un estándar abierto definido por el ETSI. Este estándar define un sistema móvil digital de radio y nace por decisión de la Unión Europea con el objeto de unificar diversas alternativas de interfaces de radio digitales para la comunicación entre los profesionales de los sectores mencionados más abajo. Se pueden transmitir cuatro canales de voz o datos por cada canal físico de radiofrecuencia. Es un sistema totalmente digital de 2G que opera en las bandas 380-400 MHz; 410-430 MHz; 450-470 MHz; 800 MHz y 900 MHz

La figura que se muestra a continuación enmarca la distribución de las bandas de frecuencia para los servicios de seguridad y los servicios públicos.

Servicios de Seguridad			Servicio Público		
Número	Ancho de Frecuencia (MHz)		Número	Ancho de Frecuencia (MHz)	
	Banda 1	Banda 2		Banda 1	Banda 2
1	380-383	390-393	1	410-420	420-430
2	383-385	393-395	2	870-876	915-921
			3	450-460	460-470
			4	385-390	395-399.9

Figura 1.4: Distribución de las bandas de frecuencia en TETRA [10]

Para asegurar el correcto funcionamiento de TETRA, el estándar define una serie de interfaces como se muestra en la figura 1.5. Entre estas se encuentran [11]:

- Interfaz aérea: Asegura la interoperabilidad entre los terminales de diferentes fabricantes. Presenta la operación TMO (*Trunking Mode*) y DMO (*Direct Mode*)
- ISI (*Inter-System Interface*): Permite las interconexiones de redes TETRA de diferentes proveedores.
- TEI (*Terminal Equipment Interface*): facilita el desarrollo independiente para aplicaciones móviles de datos.
- LSI (*Line Station Interface*): Permite la conexión de estaciones en línea remotas o en función de despacho.
- CNMI (*Central Network Management Interface*): Interfaz para la estación central de la red que permite la gestión y control de la misma.
- Otras: Garantizan la interconexión de Tetra con las redes públicas.

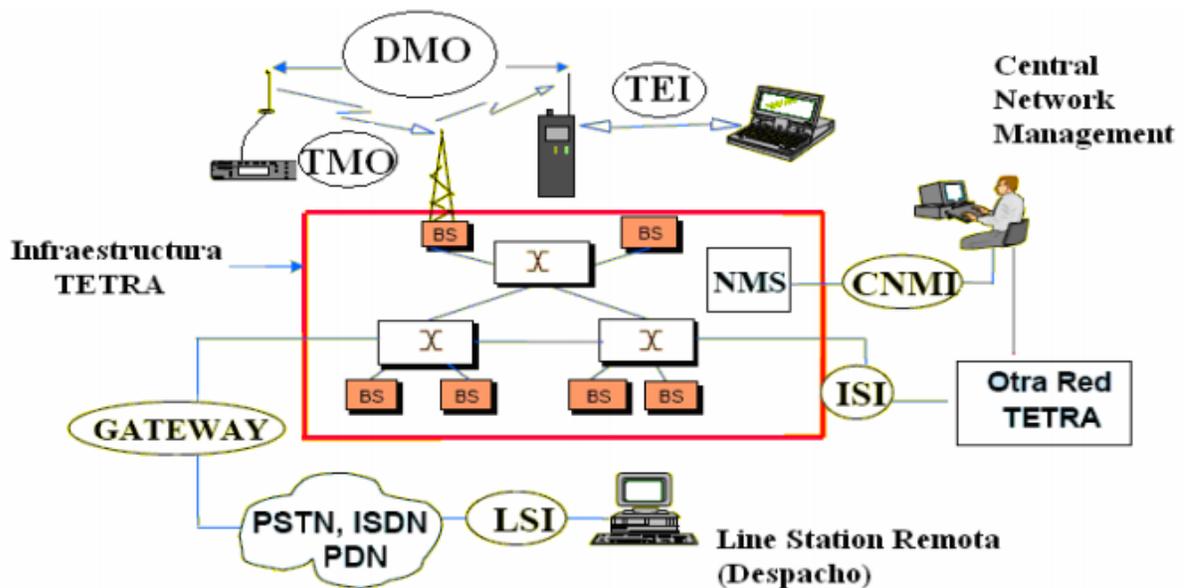


Figura 1.5: Red típica de TETRA [10]

La evolución de TETRA ha pasado por el lanzamiento de TETRA 2 y más recientemente TEDS (*TETRA Enhanced Data Service*). TEDS, para lograr mayores velocidades de transmisión de datos utiliza diferentes anchos de banda de canal de radio frecuencia y

esquemas de modulación, además es totalmente compatible con TETRA y, como resultado, facilita la migración entre las versiones del estándar [10].

La figura 1.6 muestra las velocidades de transmisión de datos (kbps) para cada modulación que emplea TEDS para los diferentes anchos de banda del canal de radio frecuencia.

MODULACIÓN	TIPO DE CANAL			
	25 KHZ	50 KHZ	100 KHZ	150 KHZ
π / 4 DQPSK	15,6			
π / 8 D8PSK	24,3			
4QAM	11	27	58	90
16QAM	22	54	116	179
64QAM	33	80	175	269
64QAM	44	107	233	359
64QAM	66	160	349	538

Figura 1.6: Velocidades de transmisión de datos por cada modulación para los diferentes anchos de banda de canal que ofrece TEDS [10]

1.2.5. Project 25.

P-25 (*Project 25*) es un conjunto de normas producidas a través de los esfuerzos conjuntos de la APCO (*Association of Public Safety Communications Officials International*), la NASTD (*National Association of State Telecommunications Directors*), la NCS (*National Communications System*) y normalizado de acuerdo con la TIA (*Telecommunications Industry Association*). P-25 es una arquitectura abierta definida por un conjunto de normas que definen arquitecturas de sistemas de radiocomunicaciones digitales capaces de atender a las necesidades de organizaciones de seguridad pública y gubernamentales. Estas se agrupan en dos [12]:

1. Las normas P-25 de presentación de servicios digitales de LMR (*Land Mobile Radio*) para las organizaciones nacionales de seguridad pública y las agencias locales, estatales y provinciales
2. Las normas P-25 de sistemas abiertos que define la interfaz, el funcionamiento y las capacidades de cualquier sistema de radio compatible con P-25.

En este estándar para el despliegue de la tecnología compatible con P-25 se definieron varias fases [12]:

- Fase 1: Los sistemas de radio en esta fase operan en analógico 12,5 KHz, digital o modo mixto. Los radios Fase 1 utilizan 4 niveles de modulación continua no lineal de FM para las transmisiones digitales. Los sistemas P-25 de Fase 1 son compatibles e

interoperables con los sistemas heredados, a través de los límites del sistema e independientemente de la infraestructura del sistema. Además, las normas P-25 proporcionan una interfaz abierta al subsistema de radio frecuencia para facilitar la interconexión de sistemas diferentes proveedores.

- Fase 2: Está actualmente en desarrollo con el objetivo de definir bien FDMA y / o normas de TDMA (*Time-Division, Multiple-Access*) para lograr un canal de voz o un mínimo de canal de datos de 4800 bps por 6,25 kHz de ancho de banda eficiente.
- Fase 3: En la ejecución de esta se abordará la necesidad de datos de alta velocidad para uso de seguridad pública. Las actividades abarcarán la operación y funcionalidad de un nuevo estándar de radio aeronáutica y terrestre inalámbrica digital de banda ancha / banda ancha de seguridad pública que puede ser utilizado para transmitir y recibir voz, video y datos de alta velocidad en redes de área amplia, de varios organismos.

Cuando la radio P-25 funciona en el modo digital, la portadora se mueve a cuatro desplazamientos de frecuencias F_i específicas que representan cuatro combinaciones diferentes de dos bits. Este es un nivel modificado de 4 FSK (*Frequency Shift Keying*) utilizado en los sistemas de radio analógicos.

En el modo analógico, la radio P25 funcionará exactamente del mismo modo que los sistemas analógicos convencionales, con la capacidad para CTCSS (*Continuous Tone Coded Squelch System*), DCS (*Digital Coded Squelch*), pre-énfasis y de-énfasis, operación de banda ancha o de banda estrecha y otras características analógicas estándar [12].

1.3. MPT 1327.

Uno de los sistemas de concentración de enlaces analógicos de mayor éxito en el mundo es conocido como MPT 1327. El estándar MPT es relativamente eficiente en términos de uso del espectro y ofrece capacidades de datos, así como llamadas de grupo, llamada rápida configuración y niveles de prioridad. El protocolo MPT 1327 es un estándar abierto de señalización para sistemas de radio móvil terrestre privada de concentración de enlaces. El Departamento de Comercio e Industria del Reino Unido publicó el primer borrador del estándar abierto MPT 1327 en 1986.

Tener pocas restricciones de patentes y ser reconocido como un estándar abierto no propietario hace MPT 1327 atractivo para los fabricantes como para los usuarios.

A continuación se presentan las principales características de este estándar [13]:

- Menos espera en los tiempos de preparación de llamada.
- Cuenta con tecnología conocida y sitios de referencia que le garantizan la aceptación en todo el mundo.
- Al ser flexible y actualizable es apto para redes pequeñas y grandes.
- Puede elegir la mejor frecuencia disponible por contar con una frecuencia transparente.
- Reduce el tiempo de espera del usuario ya que utiliza los canales gratuitos de manera eficiente.
- El costo de *hardware* por usuario es menos por tener menos necesidad de canales.
- Mayor nivel de privacidad al contar con un canal dedicado por llamada.
- Seguridad garantizada por su chequeo número de serie electrónico.
- Proporciona un soporte de datos haciendo que pueda utilizar los mensajes de texto.

1.3.1. Señalización en MPT 1327.

En este estándar cada sitio de la red tiene su propio canal de control. El canal de control es por lo general el primer canal de radiofrecuencia en un sitio. En cada segundo el canal de control envía unos 20 mensajes (llamadas "palabras de código") a los equipos de radio en el sitio, y por cada segundo estos equipos tienen cerca de 10 oportunidades para enviar palabras de código al canal de control. Las palabras de código se envían utilizando FFSK (*Fast Frequency Shift Keying*), con un tono de 1200 Hz en representación de "0" y un tono de 1800 Hz en representación de "1" [13].

Hay tres tipos de palabra de código

- CCSC (*Control Channel System Codeword*)
- Palabras de código de dirección
- Palabras de código de datos.

El CCSC contiene los sitios de identidad única y otra información importante, que se emite regularmente por el canal de control. El CCSC es de 64 bits de longitud.

Las palabras de código de dirección o comando son mensajes enviados por el canal de control y los equipos de radio para definir qué función se requiere y que unidades están involucradas. Cada palabra de código es de 64 bits de longitud y consta de 48 bits de datos y un código de redundancia cíclica de 16 bits CRC (*Cyclic Redundancy Cheking*) para la comprobación de errores.

Algunas palabras de códigos de dirección comunes son:

ALH: "Aloha". Enviada desde el canal de control para comunicarles a los equipos de radio el tiempo de trama.

RQS: "Petición de llamada simple". Enviado desde un equipo de radio el canal de control para solicitar una llamada.

AHY: "Ahoy". Enviada desde el canal de control a un equipo de radio para determinar si está disponible.

A veces una sola palabra de código de dirección es demasiado pequeña para transmitir todos los datos necesarios para establecer una llamada. Un ejemplo de esto es cuando una radio solicita una llamada a un número de largo PSTN (*Public Switched Telephone Network*). Cuando esto sucede, la radio transmite una palabra de código de dirección seguida inmediatamente por una palabra de código de datos. La palabra de código de datos contiene los dígitos PSTN que no encajan en la palabra de código de dirección.

1.3.2. Identificación del sistema *trunking* MPT 1327.

El sistema de canalización de un sistema *trunking* puede cubrir grandes áreas de un país. Dependiendo del tamaño físico del país o área a cubrir, hay dos definiciones del MPT 1327 que se utilizan [13]:

1. Regional (16 sitios)
2. Nacional (512 países)

Cuando se mira a una parte de un país (región), podemos dividir esa región en zonas (nodos). Dependiendo del tipo de sistema de canalización de esa zona puede tener hasta 10 o 30 áreas (sitios). Cada sistema de enlace tendrá su propia identidad para que los equipos de radio pueden identificar que el sistema de canalización que han sintonizado es el correcto. Cada sitio en un sistema de canalización que tiene una identidad propia.

Esta identidad de sitio junto con la identidad del sistema se transmite en el canal de control y está conformado tal como se muestra en la figura 1.7.

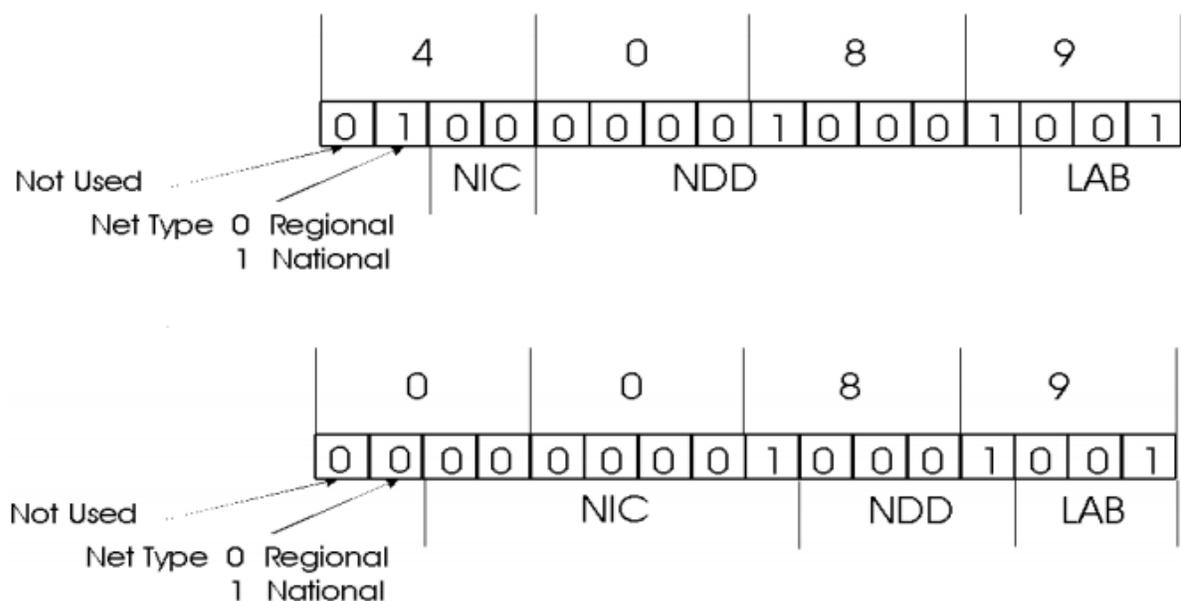


Figura 1.7: Identificadores para sistemas *trunking* MPT 1327 [13]

Como se puede apreciar en la figura este identificador está compuesto por [13]:

- NIC (*Network Identity Code*): Dependiendo del tipo de red la longitud del campo NIC va a cambiar: Con 2 bit (4 redes) para ámbito nacional y 7 bits (128 redes) para ámbitos regionales.
- NDD (*Network Dependent Data*) se utiliza para identificar los nodos y/o los tipos de radios.
- LAB: se refiere a la categoría de control del sitio.

1.3.3. El MPT 1327 en Cuba.

En la actualidad el sistema *trunking* que se emplea en Cuba es el MPT 1327 perteneciente a Tait Electronic en la banda de frecuencia de 800 MHz. La ubicación de cada radio base y su cobertura se muestran en los Anexos del 1 al 15.

Gracias a las nuevas modificaciones que Movitel ofrece, los usuarios que hasta ahora solo contaban con un *trunking* convencional pueden optar por servicio *smartrunk* solamente insertando una tarjeta en su equipo de radio convencional que varían entre Kenwood, Alinco,

Icom o Motorola. Pensando en un futuro despliegue hacia la tecnología eLTE de Huawei y es que mediante sus avances se le garantizaría a los usuarios un servicio más personalizado a sus necesidades [14]. En siguientes capítulos se describe dicha tecnología y sus mejoras para los usuarios.

1.4. Evolución de los sistemas *trunking* hacia eLTE.

Con el desarrollo de tecnologías de la comunicación, la red inalámbrica privada evoluciona de llamadas analógicas convencionales, *trunking* analógico, y de *trunking* digital de banda estrecha. La red inalámbrica privada ha sido muy inferior a la red pública en términos de tecnología de la comunicación, capacidad de comunicación, y los medios de comunicación. Su modernización industrial también se ha retrasado por unos 10 años. Alrededor del año de 1990, las redes públicas se desplegaron en gran escala y las redes GSM y CDMA reemplazaron el sistema de comunicación analógica original. En ese momento, se introdujo el sistema de *trunking* analógico en diversas industrias en el mundo donde el sistema MPT1327 fue ampliamente utilizado [15].

En 2002, la industria de la comunicación móvil pública introdujo el sistema de comunicaciones móviles de 3ª generación, tales como WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) y CDMA2000. En 2006, TD-SCDMA (*Time Division Synchronous Code Division Multiple Access*). En el mismo período, la industria de la red inalámbrica privada comenzó a implementar el sistema de banda estrecha de *trunking* digital, incluyendo el notable TETRA, iDEN, y P25. Además de estos otros sistemas de banda estrecha *trunking* se desarrollaron otros sistemas propietarios por Huawei (GT800) y ZTE (GoTa). Desde 2010, a partir de LTE (*Long-Term Evolution*), apareció eLTE, el único sistema *trunking* de banda ancha inalámbrica con propios derechos de propiedad intelectual de China, este se ha desplegado a nivel mundial y su desarrollo ya comienza a madurar [15].

Las comunicaciones móviles LTE se basan en la tecnología OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) y MIMO (*Multiple In Multiple Out*) proporciona una alta eficiencia espectral y es compatible con la tasa máxima de 150 Mbit/s en el enlace descendente y la velocidad máxima de 50 Mbit/s en el enlace ascendente. Esto trae una innovación real para la banda ancha móvil. MIMO es la abreviatura que define el uso múltiples antenas de entradas y múltiples antenas de salidas mientras OFDM es la abreviatura de frecuencia ortogonal multiplexación por división. El despliegue a gran escala y la aplicación madura de la red LTE proporciona una base para la combinación de banda ancha móvil y

comunicaciones *trunking* profesionales y la puesta en práctica de las comunicaciones de enlace troncal de banda ancha [15].

Con el rápido desarrollo de Internet móvil, la amplia aplicación de los servicios de datos de banda ancha se ha convertido en la tendencia de desarrollo de todos los sistemas de comunicaciones de radio. De acuerdo con la conclusión de la TWC (*Texas Workforce Commission*) 2012, TETRA y las comunicaciones de importancia crítica deben combinarse con el LTE en el futuro. Por lo tanto, la evolución hacia LTE se convierte en la tendencia de desarrollo de los TRS (*Trunking Radio System*) [15].

CAPÍTULO 2. Sistema *trunking* digital eLTE.

El mercado de *trunking* está experimentando una revolución de la tecnología y ofrece una gran oportunidad. Las demandas de los clientes para servicios de banda ancha, tales como vídeo de alta definición, están creciendo, y la banda ancha es una solución que se puede emplear en toda la cadena de la industria. El panorama de las comunicaciones de hoy está cambiando rápidamente. Las comunicaciones de voz no pueden satisfacer los requisitos de la empresa para la interacción personal y el intercambio de información y los servicios de datos son cada vez más críticos para alcanzar los objetivos estratégicos.

La tecnología 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) tiene una historia de éxito en la entrega de los estándares que soportan la orientación complicada de la tecnología y la promoción de la madurez del mercado. El desarrollo de las normas técnicas en 3GPP para las comunicaciones críticas de banda ancha basada en LTE mostró enormes beneficios para los sistemas abiertos y maduros y la interoperabilidad de múltiples proveedores. En los últimos años, 3GPP ha estado trabajando con organizaciones comerciales y la comunidad de seguridad pública para desarrollar mejoras en la aplicación de LTE para la seguridad pública y escenarios de comunicación críticos [16].

En cumplimiento de la tendencia de desarrollo de los sistemas *trunking* digitales, Huawei desarrolló la solución de banda ancha basados en LTE. La solución eLTE ofrece servicios de *trunking* en redes LTE mediante la adición de un servidor PTT y terminales relacionados con las redes existentes sobre la base de la red LTE estándar [17].

La solución tiene las siguientes características principales:

- Alto rendimiento
- La banda ancha y vídeo
- Interoperabilidad
- API (*Application Programming Interface*) abierta y aplicaciones ricas
- VPN (*Virtual Private Network*) y la baja de la construcción de la red y los costes de mantenimiento

- Aseguramiento de la calidad profesional de servicio de *trunking* (reserva de prioridad y recursos)

Gracias a la arquitectura de la red LTE y al diseño de la interfaz aérea para la banda ancha base, los tiempos de establecimiento de llamada se reducen considerablemente. Al igual que el *trunking* tradicional, eLTE puede proporcionar una mejor experiencia de rendimiento. Sobre la base de eMBMS (*standard evolved multimedia broadcast/multicast service*) característica del LTE, eLTE puede proporcionar gran grupo de llamadas con un número ilimitado de usuarios. Huawei extrae lecciones de lo que hereda la experiencia y logros 2G, 3G las tecnologías *trunking*, para proporcionar funciones de servicio de *trunking* integrales [17].

Sobre la base de la alta eficiencia del espectro y el ancho de banda de la red LTE, eLTE puede proporcionar video portero, video vigilancia móvil, transferencia de archivos grandes, asistencia remota, y consolas de despacho móviles [17].

2.2. Características técnicas de eLTE.

El ancho de banda de eLTE oscila entre 1,4 MHz y 20 MHz dependiendo de la banda de frecuencia que se emplee. Cuenta con una amplia gama de frecuencias de LTE-TDD (*Time-division Duplex*) de 400 MHz / 1.4 GHz / 1.8 GHz / 2.3 GHz, y LTE-FDD (*Frequency -division Duplex*) 700 MHz / 800 MHz aunque en algunos casos se puede personalizar las frecuencias a las necesidades de los clientes para que el operador puede obtener fácilmente los recursos de frecuencia. También logra combinar voz y despacho de vídeo en una sola red de banda ancha y proporcionar un tiempo de establecimiento de llamada de grupo de <300 ms y tiempo de atención preventiva de <150 ms para garantizar una respuesta oportuna para cualquier situación crítica [15].

Otra de las características es el mecanismo de QoS (*Quality of Service*) que puede garantizar la calidad (por ejemplo, el ancho de banda, prioridad, retardo, y el rendimiento) de los servicios del sistema utilizando adecuadamente los recursos de red y satisfacer las diferentes necesidades de transmisión de diferentes tipos de servicios para los usuarios de los diferentes niveles. Como se muestra en la figura 2.1 la solución presenta diferentes mecanismos de QoS en dependencia del equipo que se utilice [15].

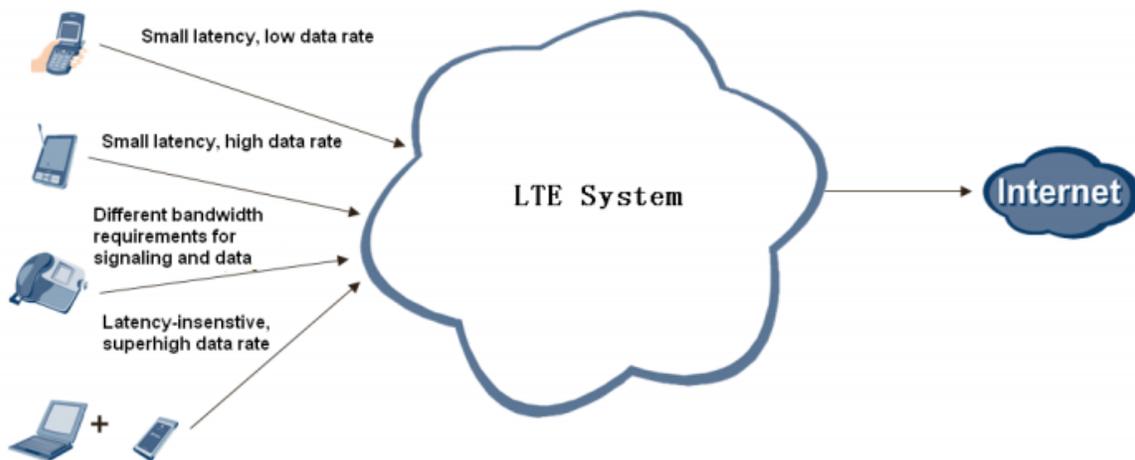


Figura 2.1 Calidad de servicios [15]

2.3. Arquitectura de red de eLTE.

En la figura 2.1 se muestra la arquitectura de una red *trunking* eLTE, en ella se definen los bloques que a continuación de describen [17]:

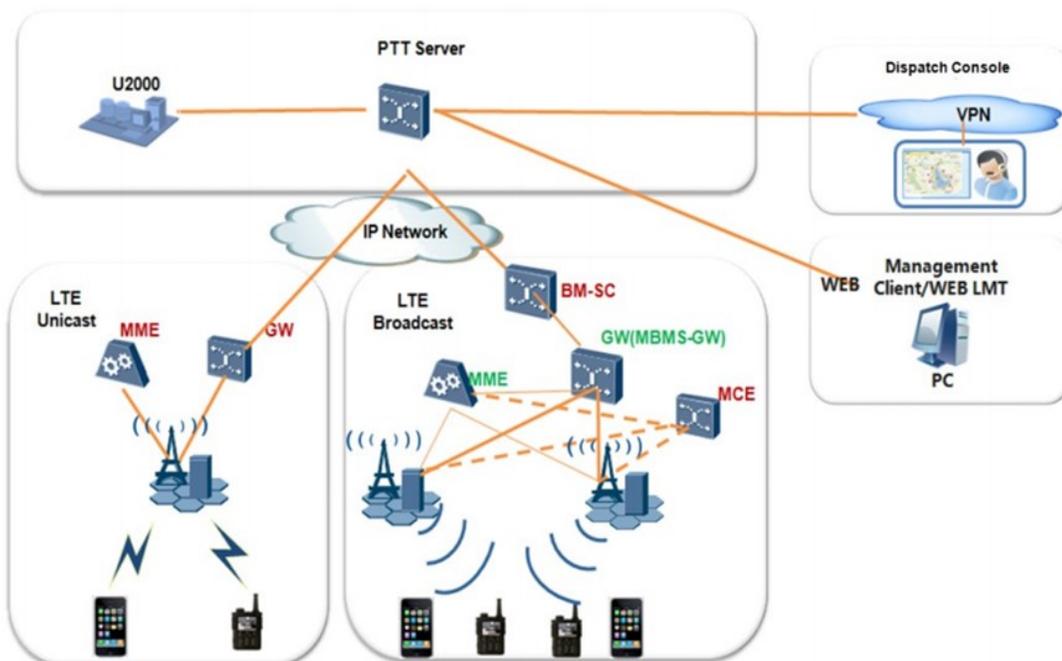


Figura 2.2 Arquitectura lógica de red de la solución eLTE de Huawei [17]

Servidor PTT: Es responsable de la autenticación de usuarios, el envío y la gestión de la condición de usuario/grupo.

Administración de Clientes: Es responsable de la creación de usuarios de *trunking* y borrado, creación y eliminación de grupo, y la modificación de atributos de grupo.

Consola de despacho: Una empresa tiene un despachador, quien usa una consola de despacho para realizar el envío al usuario o el envío al grupo, incluye los miembros del grupo y consulta el estado del grupo, llama a la participación, y al despacho temporal.

APP: Proporciona funciones de PTT en un cliente de aplicaciones. Los usuarios pueden consultar el estado miembro o lista de grupos. También pueden iniciar llamadas privadas, llamadas de grupo y llamadas de vídeo en el cliente de aplicaciones.

U2000: es un sistema de gestión de elementos unificada que es responsable de la operación y mantenimiento de los servidores de PTT. Las funciones de operación y mantenimiento incluyen la administración de registros, gestión de alarmas, seguimiento, gestión de la configuración, monitorización en tiempo real, y la instalación.

Web LMT: Es un terminal de mantenimiento local. Proporciona funciones incluyendo la gestión de alarmas, seguimiento, monitoreo en tiempo real, y el mantenimiento de la configuración.

Para una red *trunking* eLTE existen dos soluciones principales: eWBB LTE y eRelay. En los siguientes dos epígrafes se describirán las mismas.

2.4. eWBB LTE.

El rápido desarrollo de diversas industrias plantea mayores exigencias en la red inalámbrica privada. Además de los servicios de enlace de voz profesional, el sistema de comunicación tiene que proporcionar medios más ricos de comunicaciones, tales como el intercambio de datos en tiempo real, transmisión de datos de banda ancha inalámbrica para servicios de coordinación y transmisión de datos y video de alta definición. También hay requisitos más estrictos a la seguridad de la red, fiabilidad y capacidad de ampliación [15].

En los sistemas de *trunking* digital de banda estrecha, tales como TETRA y DMR, se ha mejorado mucho en la calidad de voz de comunicación y la seguridad, pero no es compatible con la transmisión de datos de banda ancha. Por ejemplo, TETRA soporta 28 kbit/s para la transmisión de datos y no puede proporcionar servicios tales como red de retorno de vídeo de alta definición lo que hace imposible satisfacer la demanda de la seguridad pública [15].

Para compensar esto, otra red de banda ancha inalámbrica independiente se implementa para proporcionar estos servicios de datos. De esta manera, el sistema de servicio de voz

está separado del sistema de servicio de datos y los dos sistemas no pueden compartir información. La mayoría de las redes de datos inalámbricas de banda ancha utilizan tecnologías como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) o LTE. Las tecnologías Wi-Fi y WiMAX no pueden cumplir con los requisitos de la red inalámbrica privada, ya que no puede proporcionar servicios de enlace de voz profesionales y tiene muchos problemas en la movilidad, la seguridad y el desarrollo de la cadena de la industria [15].

La solución eWBB LTE utiliza múltiples tecnologías avanzadas de LTE como la OFDM y el MIMO, y la tecnología profesional personalizada *trunking* de banda ancha. La solución puede proporcionar comunicaciones profesionales de *trunking* de voz, de alta fiabilidad y la transmisión de datos en tiempo real y el envío de vídeo multimedia en una sola red. Con la solución eWBB LTE, múltiples servicios pueden ser compatibles, como comando de voz expedición, el envío de instrucciones de producción (datos + voz), la recopilación de datos de equipos, equipos para la video vigilancia en el lugar de la industria, la vigilancia de vídeo en directo y de retorno.

La solución eWBB eLTE proporciona las ventajas de rendimiento de la comunicación profesional de concentración de enlaces, de alto rendimiento, alta fiabilidad y rendimiento de la transmisión de datos en tiempo real. En comparación con la red pública de LTE, el sistema eLTE adopta un diseño de *trunking* profesional, que ofrece servicios de enlace de voz profesional (*trunking* retardo del establecimiento de menos de 300 ms) y proporciona ventajas en la demora, la fiabilidad y la protección terminal. En comparación con los sistemas de banda estrecha de *trunking* tradicionales, el sistema eLTE ofrece servicios de alto tráfico y envío de diversos servicios multimedia para obtener datos e imágenes sobre el terreno en tiempo real para mejorar la eficiencia operativa y abrir una variedad de servicios que antes no estaban disponibles [15].

La solución eWBB eLTE se basa en la tecnología LTE avanzada para proporcionar dichos servicios de comunicación empresariales críticos como la concentración de enlaces de banda ancha, video vigilancia, adquisición de datos, acceso a datos de banda ancha, comunicaciones de emergencia y otros servicios de banda ancha en una sola red. Los aspectos más destacados de la solución se muestran a continuación en la siguiente tabla [15]:

Tabla 2.1 Puntos fuertes de la solución[15]:

Enlace profesional 3GPP, despacho de visualización	La convergencia pública y privada para la cobertura ininterrumpida, interconexión banda ancha / banda estrecha para inversiones seguras	Sistemas de maniobra, despliegue rápido, y Reacción rápida
Despacho de visualización, voz/video/datos todos en uno	Servicio <i>trunking</i> navega en la red publica	ECV (<i>Emergency Communication Vehicle</i>): para el comando y control en las líneas frontales
Rendimiento de <i>trunking</i> profesional: tiempo de configuración de 300 ms	Servicio <i>trunking</i> en empresas de telecomunicaciones de Smartphone	eLTE Rapid: para el despliegue rápido del sistema <i>trunking</i>
Servicios <i>trunking</i> abundantes	Interoperabilidad entre la red eLTE y otros sistemas	Repetidor DMO: para extender la cobertura
Serie de unidades terminales resistentes para ambientes ruidosos	Interconexión con 2G/3G/PSTN/IP PBX a través de Gateway	

2.4.1. Características.

La utilización de la tecnología TDD no requieren una banda simétrica, su ancho de banda tiene valores definidos entre 1,4 MHz a 20 MHz y en la actualidad la solución es compatible con dos bandas de frecuencia: 1,4 GHz y 1,8 GHz [15].

La solución *trunking* eWBB LTE cuenta con un gran ancho de banda, baja latencia y alta fiabilidad, y proporciona al operador servicios de aplicaciones superiores ya los usuarios con comunicaciones inalámbricas profesionales y servicios de aplicaciones, incluyendo, pero no limitado a:

- La transmisión de datos de banda ancha inalámbrica (recopilación de datos de usuarios en la industria, interacción en tiempo real, la posición y comando y envío)
- Despacho de voz *trunking*
- Video vigilancia y despacho (transmisión en tiempo real de videos *on site* y comando de despacho de video)

Confidencialidad de los servicios puede ser garantizada. Cifrado de la interfaz de radio y cifrado de extremo a extremo para voz y datos pueden ser compatibles. Los algoritmos de cifrado pueden ser personalizados basados en los requerimientos de los usuarios de la seguridad pública y el gobierno [15].

Trabajo en red es flexible y ampliable. Redes de diferentes escalas, desde un único eNodeB a las redes regionales son compatibles.

Se proporciona una solución global, incluyendo la red, terminal de la industria, y la plataforma de servicio de la industria.

En comparación con los sistemas tradicionales de despacho, la solución de enlace de banda ancha profesional eWBB LTE tiene un montón de ventajas técnicas [15]:

1. Implementación distribuida, cobertura basada en la movilidad, capacidad de expansión.
2. Proporciona todas las funciones de sistema de despacho tradicionales y también es compatible con sistemas de despacho y de voz tradicionales.
3. Buena capacidad de expansión para integrar con la tecnología inalámbrica existente y las redes de cable, servicios de video y servicios de datos.

2.4.2. Topología.

La figura 2.3 muestra la arquitectura de red de un sistema *trunking* multimedia de banda ancha desarrollada en base a la tecnología LTE TDD de la red pública [15].

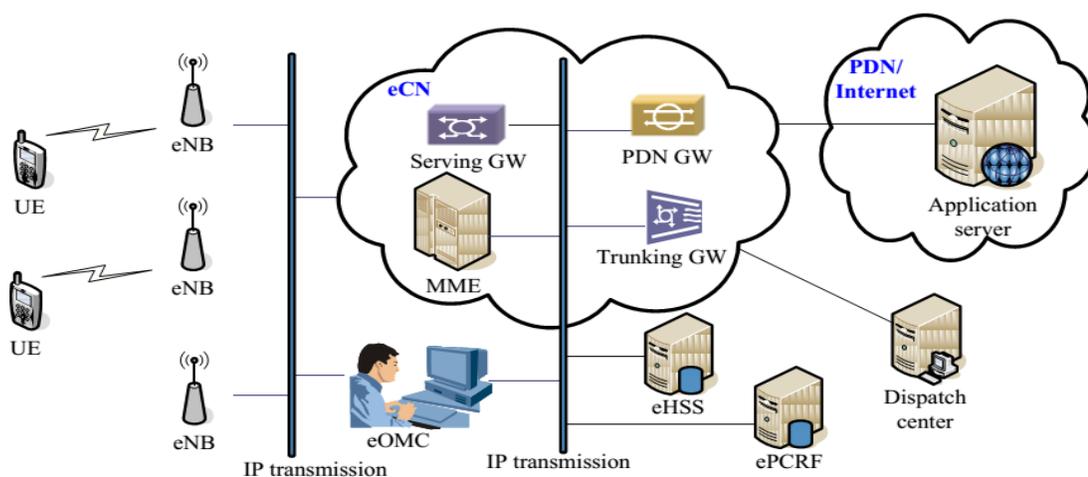


Figura 2.3 Topología de la red [15]

El sistema de banda ancha multimedia *trunking* incluye el equipamiento de usuario UE (*user equipment*), el subsistema de acceso inalámbrico eNodoB (*wireless access subsystem*), y el subsistema de red central eCN (*network subsystem*).

La eCN se puede implementar de forma centralizada o de manera distribuida [15]:

Implementación distribuida: Por su función, la eCN se compone de dispositivos de red independientes, incluyendo la entidad de gestión de movilidad MME (*mobility management entity*), S-GW (*serving gateway*), P-GW (*PDN gateway*), y la *trunking gateway*. El MME implementa la gestión de la movilidad para el acceso de UE y proporciona funciones de cifrado y autenticación. A medida que el centro de control de los servicios de trunking, el MME, realiza la gestión de sesiones y programación de *speak-right*. El S-GW procesa datos desde el UE al eNodoB, incluyendo los datos de voz y datos de multimedia. El P-GW implementa interacciones con los servidores de redes de datos externas. La puerta *trunking* actúa como una interfaz para servicios de trunking de voz y video para el centro de despacho.

Implementación centralizada: la eCN es un dispositivo de red. El MME interno y otros dispositivos son dispositivos lógicos y utilizan la misma interfaz para el interfuncionamiento externo. Para adaptarse a las necesidades de los usuarios simplificados en pequeña escala, el despliegue centralizado eCN se adopta ahora.

El sistema de comunicaciones *trunking* proporciona dispositivos que incluyen centro de expedición, eHSS, ePCRF, y eOMC (*enterprise Operation and Maintenance Center*) [15].

El centro de despacho proporciona una interfaz para la consola de despacho para poner en práctica el envío y la gestión de los servicios básicos y complementarios de voz y video. El eHSS gestiona los datos de suscripción de usuario y datos de suscripción de grupo. El ePCRF proporciona a la política pre-definición y reglas de cobro y apoya la P-GW para proporcionar la política de control de calidad de servicio. El eOMC es compatible con la supervisión y el mantenimiento de los dispositivos del sistema y puede gestionar directamente el eNodoB, eCN, eHSS, y ePCRF [15].

Teniendo en cuenta la escala de la red privada, las entidades funcionales que incluyen la eHSS y ePCRF se pueden integrar en la eCN. La figura 2.4 muestra el diagrama de red real [15].

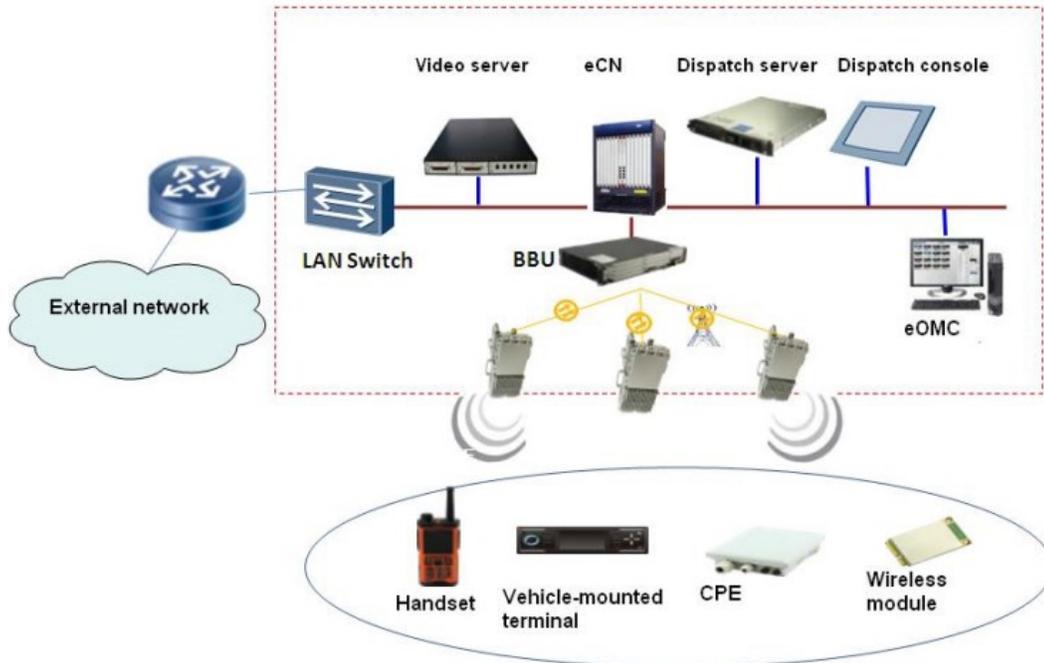


Figura 2.4 Diagrama de red real [15]

A continuación se describen más detalladamente algunas de las funciones importantes de los subsistemas de eWBB.

2.4.3. eCN.

La eCN proporciona dos funciones: gestión de movilidad y gestión de sesiones, incluida la gestión de los contextos de usuario, la interconexión con otros sistemas *trunking* y el estado de la movilidad. También asigna identidades de usuarios temporales [15].

Una de las características del eCN es que soporta el procesamiento de alto rendimiento de datos, intercambio de datos de alta velocidad, y la gestión inteligente, y cuenta con bajo consumo de energía, de alta densidad, alta fiabilidad y facilidad de mantenimiento [15].

Módulo de alimentación: Modo de redundancia 1 + 1; la compatibilidad electromagnética o EMC (*Electromagnetic Compatibility*), protección, y la corriente diseñada con los estándares estrictos. El módulo de potencia proporciona un ventilador de refrigeración y soporte de control de velocidad inteligente para satisfacer los requisitos de ahorro de energía y reducción de ruido tanto como sea posible [15].

La eCN proporciona funciones de gestión inteligente para monitorear exhaustivamente el estado de funcionamiento de todo el equipo servidor [15].

- Proporciona funciones de operación y monitoreo de equipos, como por ejemplo consulta el estado de información en posiciones, de encendido y apagado del equipo, y el control de velocidad del ventilador.
- Supervisa el estado de funcionamiento y el estado de en posición de las unidades reemplazables de campo diferentes o FRUs (Field Replaceable Units).
- Consulta el estado de salud del servidor.
- Soportes inteligentes basados en la temperatura del control de velocidad del ventilador y la temperatura ambiente de la placa de servidor, y también es compatible con el control manual de la velocidad (control de velocidad manual tiene una prioridad más alta por el control inteligente de la velocidad)

2.4.4. eOMC.

El eOMC proporciona un funcionamiento y mantenimiento centralizado de los dispositivos de comunicaciones de una red privada. En concreto, se administra dos dispositivos de comunicaciones: eNodoB y eCN. El eOMC incluye un nivel EMS (*Element Management System*), un centro OM (*Operation and Maintenance*), una herramienta de mantenimiento de simple NE, y una herramienta de análisis de registros en línea NE. El centro OM apoya la gestión centralizada de la configuración, la gestión de alarmas centralizada, la gestión del rendimiento centralizada [15].

El eOMC funciona en modo cliente / servidor y dispone de un servidor de gestión de red centralizada de conexión a múltiples clientes de gestión. Además de la plataforma tradicional de gestión de red centralizada que proporciona operaciones de gestión de red centralizada de alarmas, configuración y rendimiento, el cliente eOMC proporciona un terminal de alarma independiente para las empresas para monitorear las alarmas. El terminal de mando es también un cliente desplegado de forma independiente y se puede utilizar para suscribirse a los servicios de comunicaciones [15].

2.4.5. MTD.

MTD (*Multimedia trunking dispatch server*) es un producto de comandos multimedia de nueva generación y envío de comunicaciones. El producto ayuda al despachador para entregar órdenes de despacho a través de multimedia y se pueden integrar con los varios

sistemas de servicios a un alto grado, la mejora del nivel de inteligencia y automatización de despacho [15].

Alta Fiabilidad: Soporta copia de seguridad en caliente de doble o múltiple-servidor. Si el servidor activo presenta una falla, el servidor de reserva reemplaza automáticamente el servidor activo sin la intervención humana. Soporta copia de seguridad *multi-link*. El sistema selecciona automáticamente un enlace utilizable para el enrutamiento de las comunicaciones. Proporciona datos de registro de registros completos y diversa información de datos que incluye las operaciones del administrador, CDR (*call detail record*), y las alarmas, y también soporta la grabación de conversaciones utilizando el servidor de grabación. Proporciona las condiciones para que los usuarios rastreen operaciones.

Gran capacidad y un despliegue flexible: Soporta un máximo de 20.000 usuarios del intercomunicador y tres niveles de despacho: menos de 500 usuarios, 500 a 5000 usuarios y 5000 a 20.000 usuarios. El servidor de envío es de 1 U de altura y 19 pulgadas de ancho. Puede ser instalado en un estante y es portátil [15].

2.4.6. Consola de despacho.

El software de la consola de despacho profesional especialmente diseñado para los usuarios proporciona una interfaz de envío gráfica visual para mostrar información clara y soporta operaciones clic para maximizar la velocidad de despacho. La consola de despacho se puede dividir en consola de despacho primaria y consola de despacho secundaria. Cada consola de despacho puede ser asignado con diferentes derechos de expedición, además de personal de despacho. Con una gestión unificada y despacho jerárquico, la eficiencia de despacho se ha mejorado y varios departamentos pueden trabajar juntos de manera eficiente, cumpliendo con los requisitos de comunicaciones de área transversal entre departamentos comando a gran escala y de despacho. El software de la consola de despacho está instalado en el PC con Windows XP, Windows 2000 y Windows 2003 [15].

2.4.7. eNodoB.

El eNodoB LTE TDD utiliza una arquitectura distribuida para apoyar el intercambio de componentes en un grado máximo. El eNodoB se compone de dos módulos funcionales básicos: eBBU (*baseband control unit*) y eRRU (*remote radio unit*). Basado en la tecnología remota módulo de radio frecuencia, el eNodoB puede desplegarse de forma independiente, se expandió y evolucionó para satisfacer las necesidades de diversas redes [15].

El eBBU es una unidad de control de banda de base y proporciona las siguientes funciones [15]:

- Proporciona puertos físicos que conectan el eNodoB con el eCN para los procesos relacionados con los protocolos de transmisión de las pilas.
- Proporciona puertos CPRI para comunicarse con el eRRU para el procesamiento de señales de enlace ascendente y enlace de banda base descendente.
- Gestiona todo el eNodoB de una manera centralizada, incluyendo OM y procesamiento de señalización.
- Proporciona un canal de mantenimiento al LMT (*local maintenance terminal*).
- Proporciona la interfaz de reloj, la interfaz de monitoreo de alarmas, y la interfaz USB.

El eBBU incluye funciones de placa, tales como LMPT (*LTE main processing transmission unit*), LBBPc (*LTE baseband processing unit*), y la UPEUc (*universal power and environment interface unit*). Las placas de soporte plug and play, que se pueden configurar según las necesidades [15].

El eRRU (*remote radio unit*) es una unidad de radio remota y forma la unidad de radio frecuencia de una estación base distribuida. La eRRU se puede instalar en un poste, pared o bastidor y también se puede instalar cerca de la antena. Eso ayuda a reducir la duración de alimentación y la señal de pérdida de alimentación y mejorar la cobertura y la capacidad del sistema. El eRRU proporciona funciones, incluyendo la modulación y demodulación de señales de banda base y las señales de radio frecuencia, procesamiento de datos, la amplificación de potencia, relación de onda estacionaria de tensión o VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) de detección [15].

2.5. eRelay.

La segunda solución de eLTE es eRelay la cual puede desplegar de forma flexible y económica el *backhaul* inalámbrico, ya sea para la cobertura exterior o interior. eRelay también proporciona una transmisión de capa 2, la gestión de QoS en estos escenarios de despliegue con una capacidad razonable[18].

A continuación, podemos apreciar algunos escenarios donde se aplican las características de eRelay para el *Backhaul* inalámbrico.

Backhaul inalámbrico para la cobertura en exteriores

La figura 2.5 muestra una cobertura para celdas pequeñas



Figura 2.5 Backhaul inalámbrico para la cobertura en exteriores [18]

La figura 2.8 nos permite apreciar el escenario de aplicación principal de la red de retorno eRelay. Dado que la pequeña celda por lo general requiere menos ancho de banda, la red de retorno eRelay P2MP (punto a multipunto), que no sólo proporciona una transmisión NLOS (*Non Line of Sight*) de células pequeñas, sino que también comparte ancho de banda entre múltiples células pequeñas, de una manera económica. No es necesario, pero en la mayoría de los casos, eRelay BS (*Base Station*) puede compartir el sitio con macro BTS (*Business Telecommunication Services*) existentes para reducir los costos generales. eRelay puede ser desplegado para permitir capa de capacidad, cuando el operador tiene tanto macro-estación base y la micro -estación base. eRelay suministra capacidad de transmisión de la estación base micro, para agrandar toda la capacidad de la red [18].

Backhaul inalámbrico para la cobertura rural

En la figura 2.6 se puede observar como sería el *Backhaul* inalámbrico para la cobertura rural.

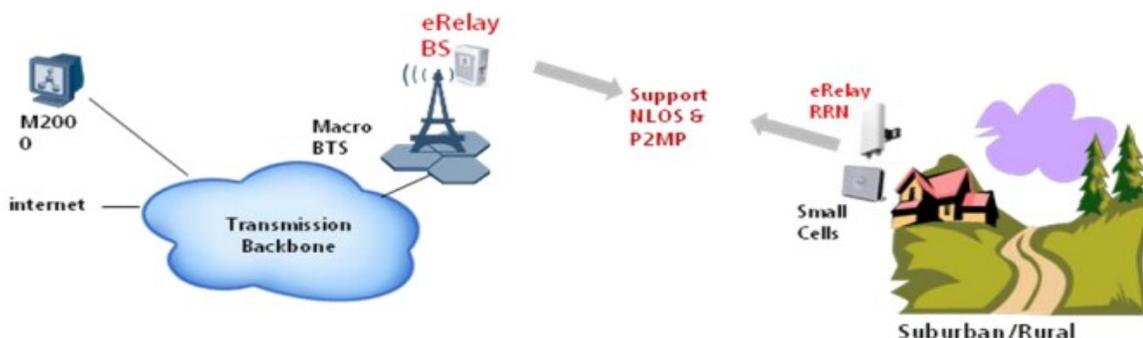


Figura 2.6 *Backhaul inalámbrico* para la cobertura rural [18]

En algunos países, la cobertura de servicios para tales áreas es requisitos obligatorios para el operador. eRelay ofrece la solución de *backhaul* económica y flexible para tales aplicaciones. eRelay soporta diferentes configuraciones de radio de la relación de enlace ascendente y descendente, basado en los requisitos de tráfico del operador. Cuando el tráfico es casi enlace descendente, el operador puede seleccionar la forma de tráfico en la que por cada 1 *uplink* puede hacer 3 *downlink* para aumentar el rendimiento del tráfico[18].

Backhaul inalámbrico para puntos de acceso Wi-Fi al aire libre

Dado que la mayoría de los teléfonos inteligentes modernos, computadoras portátiles y tabletas soporte Wi-Fi, el operador puede construir más puntos de acceso Wi-Fi y el uso flexible de las tarifas para descargar el tráfico de la red 3G carga pesada. En este escenario que se muestra en la figura 2.7 eRelay proporcionará *backhaul* para puntos de acceso Wi-Fi al aire libre[18].



Figura 2.7 *Backhaul inalámbrico* para puntos de acceso WiFi al aire libre [18]

2.5.1. Características y ventajas de eRelay

En este epígrafe se pueden apreciar algunas de las características con que cuenta la solución eRelay:

1- eRelay soporta comunicación P2MP. Una célula eRelay soporta hasta 16 RRNs (*Remote Node*). En la configuración máxima, eRelay BS soporta hasta 3 sectores con 2 portadoras para banda de 3,5 GHz y 2,6 GHz banda y esto garantiza [19]:

- En gran medida reducir el número de elementos de la red con respecto a la tecnología P2MP.

- Administración simplificada.
- Bajo la plataforma de red de topología P2MP, eRelay BS puede coordinar la capacidad de transmisión entre los locales y RRNs la máxima utilización general del espectro.

2- eRelay utiliza tecnologías OFDMA, MIMO y formación de tecnologías de avanzada para permitir la transmisión NLOS en el área urbana obstruida donde las tecnologías LOS (*Line of Sight*) como microondas no son adecuados debido a la complicación por obstáculos. Con la capacidad de NLOS también se puede extender la red de retorno a las zonas rurales que suelen ser difíciles de alcanzar por las transmisiones por cable [19].

3- eRelay soporta hasta 64 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) de orden superior, según el MCS (IEEE 802.11n), para alta capacidad del sistema. El aumento de capacidad adicional se puede conseguir mediante el uso de modernas tecnologías como MIMO avanzada [19].

2.6. Aplicaciones de eLTE

En este epígrafe se pueden observar alguna de las aplicaciones más importantes del sistema *trunking* eLTE. Estas muestran el amplio abanico de oportunidades que brinda el sistema.

2.6.1. Voz *trunking*

El soporte de voz ha sido optimizado en el sistema eLTE. La capa de protocolo de plano de usuario de la interfaz de radio lleva directamente el códec AMR (*Adaptive Multi-Rate*) sobre LTE. Esto simplifica la codificación de redundancia de hablar en VoIP, reduce la sobrecarga de radio-interfaz, ahorra recursos de radio de la interfaz, y soporta dos tipos de velocidades de datos de 4,75 kbit/s y 12,2 kbit/s [15].

Los servicios profesionales de la voz se garantizan con la QoS de extremo a extremo y el retardo de establecimiento de llamada es inferior a 300 ms [15].

Los diferentes tipos de servicios incluyen varios tipos de llamadas y entre estas se encuentran unas características muy útiles como:

El reagrupamiento dinámico ya que, con esta característica, el operador de despacho puede combinar varios grupos de llamada estáticas con el equipo de usuario o UE para formar un nuevo grupo de llamada dinámica y establecer una llamada. Con la creación de un grupo dinámico, el operador de despacho recibe una lista de los UE que no reciben la orden de establecimiento de llamada. El operador de despacho puede crear, eliminar o consultar el

grupo dinámico de llamadas en la consola de despacho. Al configurar una llamada de grupo dinámico, se añade un nuevo número de llamada de grupo a los UE en una red troncal sobre la interfaz aérea. Después de que el UE recibe el comando dinámico de reagrupamiento, se envía un mensaje al operador de despacho para informar que ha recibido el comando y actualiza el grupo de suscripción. Cuando un grupo dinámico está configurado, el equipo de usuario escucha automáticamente a la llamada de grupo sobre la base de las prioridades de servicio. Esta función apoya la creación de los UE y la eliminación de un grupo dinámico [20].

La siguiente tabla donde muestra las funciones que presenta la voz *trunking*.

Tabla 2.2 Funciones de voz *trunking* [15]

Funciones básicas de la voz <i>trunking</i>	Funciones de voz <i>trunking</i> mejorada	Servicio de voz punto a punto
Administración de la información de usuario	Registro y cancelación del terminal	Llamada privada
Administración de la información de grupo	Apagado y encendido del terminal remoto	Línea directa
Administración de la información de autenticación	Actualización de área de agrupación según rendimiento	Conversaciones de tiempo limitado
Unidad terminal que inicia la instalación del servicio <i>trunking</i>	Llamada de emergencia	
Consola de despacho que inicia la instalación del servicio <i>trunking</i>	Transmisión de emergencia	
Administración de calidad de conversación (aplicación, percepción, lanzamiento)	Inserción/retirado a la fuerza de consola de despacho	
Unidad terminal que selecciona un grupo	Acceso de demora automática	
Cerrado de grupo	Escaneado de conversación de grupo	

Las llamadas *trunking* es otro de las características que brinda esta aplicación y con esta el transmisor (Tx) tiene una conexión RRC (*Radio Resource Control*) dedicado para servicios *trunking*. Los procedimientos de movilidad y de traspaso para el altavoz son los mismos que los del sistema de LTE originales. Los mensajes del procedimiento de conexión RRC llevan parámetros de medición y de reportes de medición de información a cada transmisor [15].

Uplink: Los datos del Tx alcanzan el eNodeB a través de la interfaz Uu. El eNodeB establece un portador a través de la interfaz S1 para transferir datos de voz al eCN. Entonces, la eCN envía los datos al centro de despacho través de la interfaz Tx[15].

Downlink: El centro de despacho envía datos de voz de la eCN sobre la interfaz de Tx y la eCN envía los datos de voz a eNodeB en un grupo a través de la interfaz S-GW y S1. A continuación, los eNodeBs envían los datos de voz a los oyentes a través de la GTCH (*Group Traffic Channel*) [15].

2.6.2. DMO

DMO (Direct Mode Operation) asegura una comunicación continua cuando los usuarios están operando fuera de la cobertura de la red o en áreas con señales débiles. Es muy útil para la policía a tomar las tareas en las áreas rurales y forestales sin cobertura de red. Transmite en la frecuencia autorizada de 450-470 MHz y en áreas rurales abarca una distancia de hasta 5km siendo solamente de hasta 1 km en área urbana [19].

2.6.3. Posicionamiento

El sistema *trunking* eWBB LTE es compatible con servicios de posicionamiento basados en GPS (*Global Posisionamiento System*). El terminal puede utilizar el tráfico de portadora proporcionada por el eNodeB para transmitir su información GPS a una aplicación de capa superior para los servicios de posicionamiento como el GIS (*Geographical Information System*) [15].

- Un terminal se puede visualizar en un mapa eléctrico en uno de los siguientes tres estados: activado informes GPS, satélite falló la búsqueda y la presentación de informes GPS discapacitados [15].
- Si el receptor falla en la búsqueda de satélite o desactiva la notificación del GPS, la ubicación del UE en la última actualización del GPS y la hora de la última actualización del GPS se muestran en el mapa electrónico.
- Un teléfono puede estar colocado en el mapa electrónico mediante la visualización del estado, la ubicación, y la información de dirección del teléfono. La alerta transfronteriza es compatible [15].
- El auricular puede estar asociada con otras funciones. En el mapa eléctrica, se puede seleccionar un teléfono para activar la vigilancia de vídeo, distribución de video, llamada de video de punto a punto, llamada de voz punto a punto, y mensajes de texto.

- El mapa electrónico muestra la posición de una cámara fija. Se puede utilizar el mapa eléctrico para configurar la cámara y ver las imágenes de vigilancia.
- El período para un teléfono para reportar información de actualización de localización GPS se puede configurar en el servidor. El periodo puede ser establecido a S1, 2, 5, 10s, 15s, 30s o. El valor por defecto es 30 años [15].

2.6.4. Video vigilancia

La función de video vigilancia se puede realizar usando la cámara del teléfono o de vídeo inalámbrico fijo. El *backhaul* de *uplink* de datos de videos en tiempo real multicanal es posible porque el *trunking* eWBB de la red privada proporciona una transmisión de gran ancho de banda [15].

La cámara en un teléfono puede ser abierta manualmente o utilizando un comando de la consola de despacho para que codifique el receptor y devuelve la información de vídeo en tiempo real. Un teléfono es compatible con los siguientes formatos: D1 (720 x 480) a 25 fotogramas / segundo, 720p (1280 x 720) a 25 fotogramas / segundo, y 1080p a 15 fotogramas / segundo. El formato D1 se utiliza por defecto. Los formatos 720p y 1080p necesitan ser soportados solamente por las cámaras traseras de los teléfonos, mientras que una cámara fija usa el formato 1080p a 25 fotogramas / segundo, el formato no se puede cambiar después de que el video esté en la red [15].

También es posible el envío de vídeo y audio o solamente el de video, teniendo la opción de que el audio puede ser activado o desactivado cuando el vídeo se reproduce en el receptor de vídeo.

Además es soportada la intercomunicación con un dispositivo secundario conectado a una cámara fija o equipos de voz unida [15].

La aplicación de video vigilancia del *trunking* eLTE se caracteriza por [20]:

- Uplink tiene 50 Mbit/s de ancho de banda con una superficie de 3 a 10 kilómetros, y proporciona canales de backhaul de vídeo adicionales.
- eSDKs (*Enterprise Software Development Kits*) e interfaces abiertas pueden estar vinculados con sistemas de terceros.
- Análisis inteligente y funciones de alarma.

2.6.5. Una misma red para varios departamentos.

La solución eLTE permite que diferentes departamentos compartan una misma red proporcionando una arquitectura de red abierta, flexible y segura. Por lo tanto, eLTE puede proporcionar diferentes redes VPN para los diferentes departamentos y compartir la información pública con todos los departamentos. Sin embargo, el acceso a datos a través de diferentes redes VPN está prohibido para cumplir con los requisitos de seguridad de los diferentes departamentos [19].

2.7. Seguridad en eLTE

El mecanismo de seguridad de una red inalámbrica privada se divide en tres tipos: la autenticación y cifrado de radio-interfaz, la seguridad de transmisión, y cifrado de extremo a extremo [15].

2.7.1. Autenticación y cifrado de interfaz de radio.

La autenticación de interfaz de radio de una red privada basada en TDD es la autenticación bidireccional, incluyendo la autenticación de UE por la red y la red de autenticación por parte del UE. La seguridad del AS (*access stratum*) indica la seguridad entre el UE y el eNodeB y se utiliza para implementar el cifrado y la protección de la integridad de la protección como la señalización y la confidencialidad de los datos del plano de usuario. La seguridad NAS (*non-access stratum*) indica la seguridad entre el UE y la MME y se utiliza para implementar la confidencialidad y protección de integridad para señalización NAS [15].

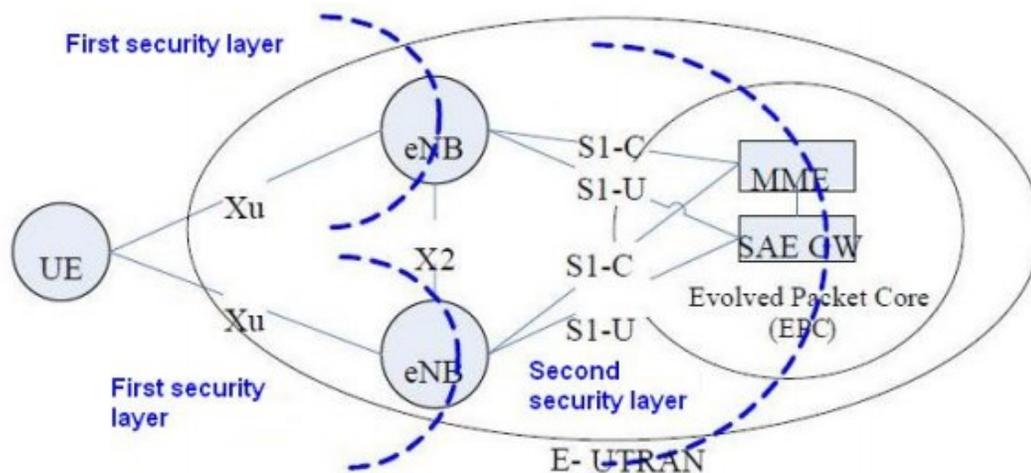


Figura 2.8 Proceso de Seguridad [15]

En la figura 2.8 se puede observar el proceso por el que debe pasar la señal para que sea segura y parte importante de este es el procedimiento para la autenticación de radio de la interfaz y el cifrado de una red privada basada en TDD. Este se describe como sigue:

1. La autenticación y el procedimiento de acuerdo de claves [15]:

El propósito de la autenticación y el acuerdo de clave en una red privada inalámbrica basada en TDD es utilizar la clave compartida por el centro de autenticación o AUC (*authentication center*) y la tarjeta USIM para generar las sub-claves AS y NAS para el cifrado y la autenticación. Por lo tanto, los contextos de seguridad de la red de acceso y la red de acceso no se establecen entre el UE y la red.

2. procedimiento de activación de seguridad del terminal [15]:

En una red inalámbrica privada basada en TDD, el NAS y el AS llevan a cabo la encriptación y la protección de integridad por separado. Su activación de seguridad se realiza a través de comandos de SMC (*System Management Controller*) después del procedimiento AKA (*authentication and key agreement*).

La seguridad del NAS y el AS para la unidad terminal es activada en el siguiente orden sobre el equipo de la red: activar la seguridad NAS antes que la seguridad del AS.

3. Procedimiento de modo de seguridad NAS [15]:

El procedimiento de modo de seguridad NAS es iniciada por la red. El mensaje SMC enviado por el MME pasa por el NAS para la protección de la integridad.

Después de recibir el mensaje de SMC, el UE primero compara las capacidades de seguridad IE UE en el mensaje con que en el mensaje de SMC enviado por el UE para comprobar si el IE se modifica.

4. Procedimiento de modo de seguridad AS [15]:

Inmediatamente después de la activación de seguridad NAS, la seguridad AS es activada y se lleva a cabo mediante el comando AS SMC.

5. La obtención de clave de terminales [15]:

Después de la activación de la seguridad NAS y AS, las claves de confidencialidad y protección de integridad se generan para el NAS y AS, respectivamente.

Después de obtener las claves de confidencialidad y protección de la integridad, el UE realiza el cifrado y la protección de la integridad de los datos y la señalización basados en parámetros de seguridad de NAS y AS.

2.7.2. Seguridad de transmisión.

El objetivo de la seguridad de transmisión es garantizar la seguridad de los soportes de transmisión. NE involucradas en la seguridad de transmisión del sistema LTE incluyen eNodeB, UE, MME, S-GW, servidor del reloj, y las interfaces entre los elementos de red y eNodeB, como se muestra en la figura 2.9 [15]:

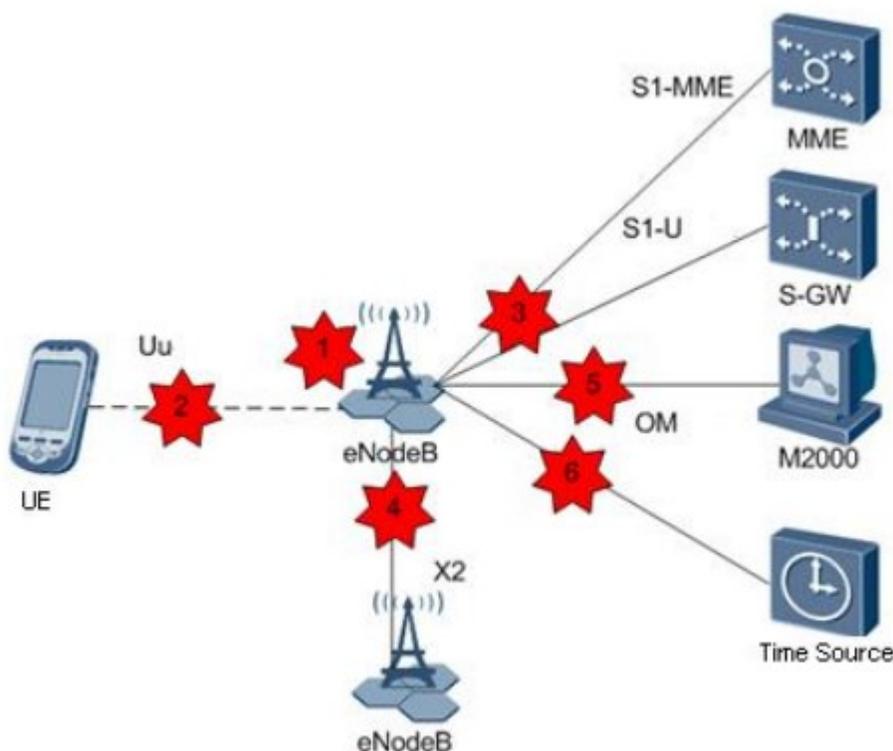


Figura 2.9 Transmisión del sistema [15]

Las amenazas a la seguridad de transmisión provienen de la red portadora de transmisión. La transmisión portador red puede transferir datos a través de la interfaz S1 / X2 / OM. Si la transmisión portador red no proporciona un mecanismo de seguridad, los datos no cifrados transmitidos a través de la interfaz S1 / X2 / OM es vulnerable a amenazas a la seguridad.

Las características de seguridad en eWBB LTE son los siguientes [15]:

- Protege contra ataques de paquetes mal formados, como TCP (*Transmission Control Protocol*)-bandera y ping de la muerte.
- Previene los ataques de DoS (*Denial of Service*) y DDoS (*Distributed Denial of Service*), tales como desbordamientos SYN (bit de control de TCP), desbordamiento ICMP (*Internet Control Message Protocol*), desbordamiento UDP (*User Datagram Protocol*), ICMP y redirección y mensajes inalcanzables.
- Previene ataques de desbordamiento ARP (*Address Resolution Protocol*) y repetición ARP.
- Soporta filtrado de puertos de la lista de control de acceso o ACL (*access control list*).
- Compatible con las redes de área local virtuales o VLAN (*virtual Local Area Network*).

Ya analizadas las particularidades de los sistemas *trunking* eLTE de Huawei en el próximo capítulo se describirá una propuesta para su implementación en Cuba en la que se tendrán en cuenta las características del eLTE y las necesidades del país.

CAPÍTULO 3. Propuesta para la implementación del sistema *trunking* digital eLTE.

Las soluciones eLTE brindan acceso a redes en cualquier momento y en cualquier lugar. Se basan en tecnologías eLTE de vanguardia que se personalizan para implementar servicios empresariales, eLTE ofrece la velocidad y la fiabilidad necesarias para aplicaciones informáticas [21].

Teniendo en cuenta las características antes mencionadas de las soluciones eLTE para los sistemas *trunking*, en este capítulo se propone el despliegue del sistema *trunking* eWBB en Cuba.

3.1. Requerimientos a tener en cuenta.

Hay ciertos parámetros a tener en cuenta para que el sistema eLTE pueda ser tomado en consideración. Algunos de ellos dependen de las características y facilidades de la solución de Huawei y otros de las especificaciones del propio país. Prestando atención a los siguientes requerimientos puede ser posible crear una propuesta que responda a las necesidades que presenta el sistema *trunking* en Cuba. Quizás una de las primeras cosas a tener en cuenta es que tenga compatibilidad con otros sistemas, como por ejemplo el MPT 1327, que está en uso en estos momentos en Cuba, y que se analice la posibilidad para la sustitución del mismo en un futuro. También es importante la comunicación con las demás redes de comunicaciones en uso tal como PSTN y PABX (*Private Branch Exchange* y *Private Automatic Branch Exchange*) [14], el control de la red y el manejo de los fallos, las posibilidades de migrar a tecnologías futuras de acuerdo con las necesidades que se presenten, escuchar y visualizar el entorno y crear disposiciones o recursos para registrar las facturas de los clientes pre-pago y pos-pago.

En cuanto a la banda en la que se debe trabajar y su cobertura deben tenerse en cuenta el espectro de se puede emplear para el servicio móvil terrestre, según el MINCOM (Ministerio de las Comunicaciones), que es el de 450 a 470 MHz [20]. Resulta necesario analizar la cobertura en los casos de éxitos en China, donde hay coberturas de hasta 83 Km² como el Lijiang Subburó [20], además los dispositivos pueden cubrir cada uno de 5-9 Km² sin comprometer la fiabilidad de la información [23]. Considerando las características del territorio nacional se puede cubrir un 80 % que representaría un área de 64.354 Km².

Los equipos que Huawei procure han de responder a las necesidades actuales de Movitel, teniendo en cuenta, como condición principal, que sean seguros. Deben contar con estaciones fijas, portables y móviles así como de los servicios de transmisión de datos.

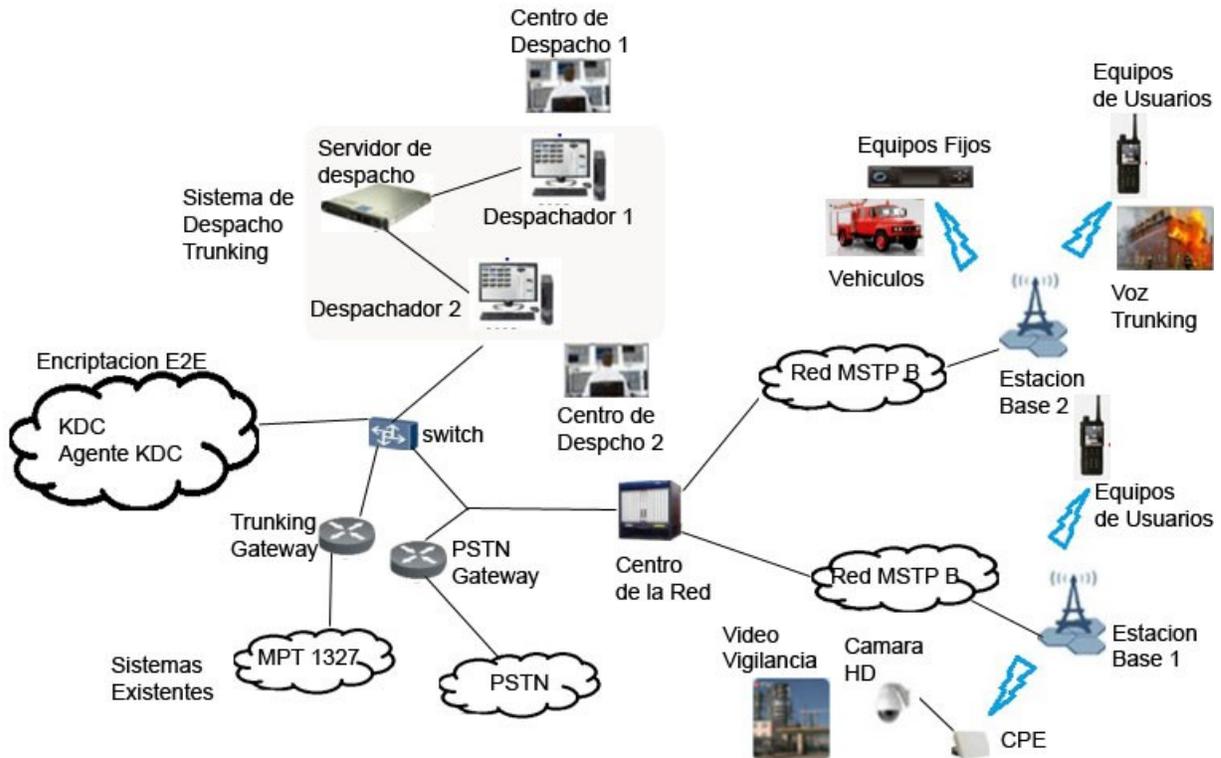
También se precisan algunos *trunking* de gama baja que serán usados para clientes que no necesiten la transmisión de datos. Al contar con esos equipos será posible garantizar las siguientes facilidades y servicios:

1. Llamadas individuales (punto a punto)
2. Llamadas de grupo (radiodifusión, conferencias)
3. Llamadas a teléfonos
4. Llamadas de emergencia
5. Llamadas de prioridad
6. Videoconferencias
7. Transmisión de datos a alta velocidad (de 2 a 50Mbps [20])
8. Posicionamiento en tiempo real
9. Video vigilancia
10. Servicios de envío:
 - Conexión y desconexión forzosas
 - Grabación de video y voz
 - Monitoreo en tiempo real
 - Gestión de flotas de clientes exclusivos
 - Traspasos de llamadas
 - Terminales con servicios de localización

En comparación con las redes GSM y UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), la red LTE proporciona un mecanismo más completo de cifrado y protección de la integridad de la interfaz de aire. La protección, sin embargo, necesita ser mejorado en la red por cable. Protección de cifrado que se realiza sólo en la capa de enlace por segmento todavía tiene riesgos de seguridad. Clientes de la industria que tienen altos requerimientos de seguridad tienen fuertes exigencias sobre el cifrado E2E de capa de aplicación. Se propone la solución de cifrado E2E, que consta de agente KDC y KDC, basado en hardware para el despliegue de la red *trunking* eLTE [15].

3.2. Diseño propuesto de la red

El diseño que se muestra en la figura 3.1 está basado en las características abordadas en el capítulo anterior y en las aplicaciones que se proponen implementaren el siguiente epígrafe. En este diseño se tuvo en cuenta el sistema existente en Movitel para que la migración pueda efectuarse de forma paulatina.



A continuación se desglosan algunas de las características de los equipos que se pueden emplear:

Se recomienda que se utilice un switch con puertos a Gigabyte y con fiabilidad. Sin embargo la elección de los elementos de conmutación se deja a la elección de Movitel y solo se proponen los equipos de Huawei que tengan que ver con la tecnología eLTE.

Para el centro de red se propone el uso de un eCNS210 que se muestra en la figura 3.2 y este es muy importante ya que va a garantizar que la tecnología existente se comunique con la red *trunking*.



Figura 3.2 eCNS210 [24]

El PSTN Gateway que se propone es el U1981 que se muestra en la figura 3.3



Figura 3.3 PSTN Gateway U1981 [25]

El CPE que se propone utilizar es el EG860 y este se caracteriza por usar el estándar para WAN el LTE 3GPP Release 9, para LAN el IEEE 802.3 / 802.3u y para WLAN el IEEE 802.11b / g / n. El espectro que se propone es el LTE TDD 400MHz de 380 ~ 450 MHz y con una potencia de ≤ 25 dBm (+2 / -2). En la figura 3.4 se muestra un CPE.



Figura 3.4 CPE EG860 [26]

Para los terminales de vehículos tenemos el EV750 como se muestra en la figura 3.5 y para los terminales móviles el EP630 que se muestra en la figura 3.6 y sus características se definen en la tabla 3.1.



Figura 3.5 Terminal para vehículos [27]



Figura 3.6 Terminal móvil EP630 [28]

Tabla 3.1 Características de los terminales [27] [28] [29]

Equipamiento	Bandas de frecuencia	Ancho de banda (400 MHz)	Sensibilidad	Potencia	Modulación
EV750	LTE: 400 MHz de 380 a 450 MHz	3 MHz	<u>3 MHz</u> : -102.2 dBm	400 MHz: 27 ± 2dBm	Uplink: QPSK, 16QAM, 64QAM Downlink: QPSK, 16QAM, 64QAM
	DMO de 400 a 470 MHz	5 MHz 10 MHz 20 MHz	<u>5 MHz</u> : -100 dBm <u>10 MHz</u> : -97 dBm <u>20 MHz</u> : -94 dBm	DMO: 30 ± 2dBm	
EP630	EP630-C71: 800 MHz: (Downlink) 791 ~ 821 (Uplink) 832 ~ 862			800 MHz: 24 ± 2dBm	
	EP630-D04A: 400MHz: 380 ~ 450	5 MHz 10 MHz 20 MHz	<u>5 MHz</u> : -100 dBm <u>10 MHz</u> : -97 dBm <u>20 MHz</u> : -94 dBm	400 MHz: 24 ± 2dBm DMO: 30 ± 2dBm	
EP820	LTE: 400 MHz: 380 ~ 450 MHz	3 MHz	<u>3 MHz</u> : -102.2 dBm	400 MHz: 26 ± 2dBm	
	DMO: 400 ~ 470 MHz	5 MHz 10 MHz 20 MHz	<u>5 MHz</u> : -100 dBm <u>10 MHz</u> : -97 dBm <u>20 MHz</u> : -94 dBm	DMO: 30 ± 2dBm	

3.3. Propuesta para el uso de aplicaciones.

Basados en un estudio de las industrias cubanas se puede concluir en algunos servicios que serían aplicables tal como se propone a continuación.

3.3.1. Voz Trunking.

Esta aplicación es muy ventajosa ya que debido a su amplia gama de servicios puede ser implementada en todas las esferas y es que la transmisión de voz es la más empleada por los clientes. Una de sus vertientes se puede apreciar en la figura 3.7 que muestra una de las formas en las que se podría aplicar el servicio de reagrupación dinámica. Este servicio se puede emplear para la seguridad dado que en caso de emergencias varios grupos, como serían la policía, los médicos y los bomberos, podrían comunicarse entre ellos y así facilitar las labores en conjunto. Es muy útil esta función no solo para estos sectores antes mencionados sino también para industrias que se relacione por sus servicios ya que en momentos dados quizás necesiten realizar labores en conjunto manteniendo la rapidez, calidad y seguridad en sus comunicaciones.

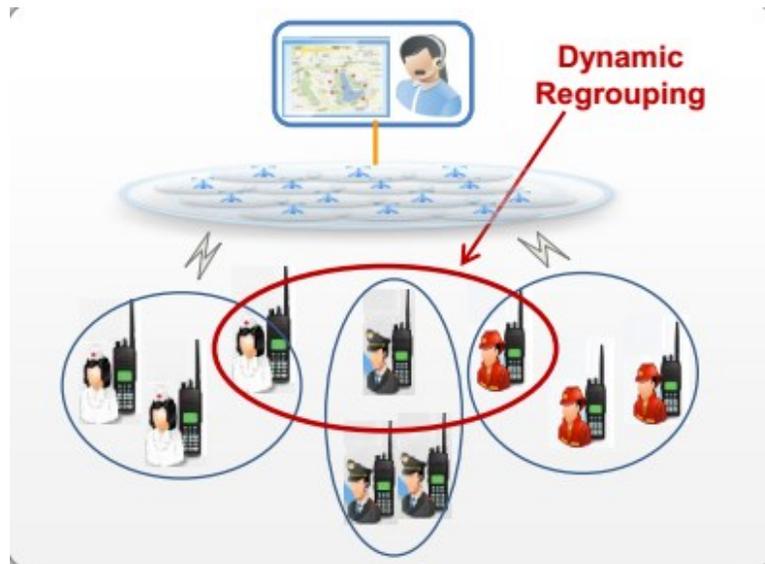


Figura 3.7 Reagrupación dinámica [20]

3.3.2. DMO.

El DMO, como se explica en la figura 3.8, puede emplearse tanto en la seguridad pública, como en las empresas eléctricas, mineras, textiles, de transporte entre otras. Es útil ya que puede ayudar con la interconexión de equipos que se encuentren alrededor del rango o en

sitios caídos. Mediante el DMO se garantiza una comunicación en momentos críticos siempre que se aplique.

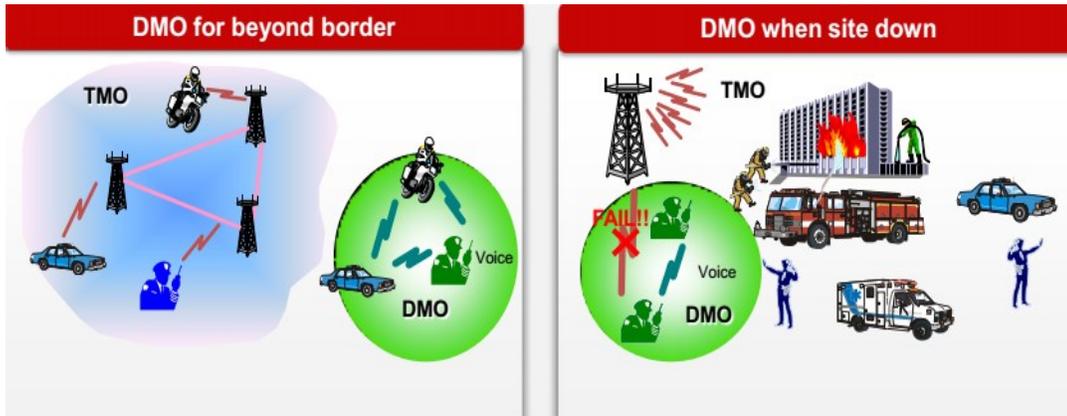


Figura 3.8 Casos de DMO [19]

3.3.3. Posicionamiento.

Este servicio utiliza el sistema GIS el cual puede brindar [19]:

- Localización basada en despacho: despacho de voz *trunking*, video y datos.
- Un máximo de 8000 dispositivos reportando periódicamente información de localización y posicionamiento rápido y seguro.
- Despacho basado en mapa gráfico y operación fácil y conveniente
- Realza la eficacia del despacho.

Siendo muy útil en cualquier rama que se desee emplear ya que para toda industria siempre es necesario conocer la ubicación de sus dispositivos. Al encontrarse los terminales muchas veces en movimiento en caso de emergencias se puede disponer de los recursos con mayor rapidez y eficiencia. Por ejemplo, si ocurre un incendio o un delito es posible ubicar a los equipos necesarios más cercanos y aumentar la velocidad de respuesta. En la figura 3.9 muestra cómo sería la ubicación de los dispositivos en el mapa.



Figura 3.9 Posicionamiento en el mapa [19]

3.3.4. Video Vigilancia.

La figura 3.10 muestra un ejemplo de cómo se vería un sistema de video vigilancia instalado en una industria:

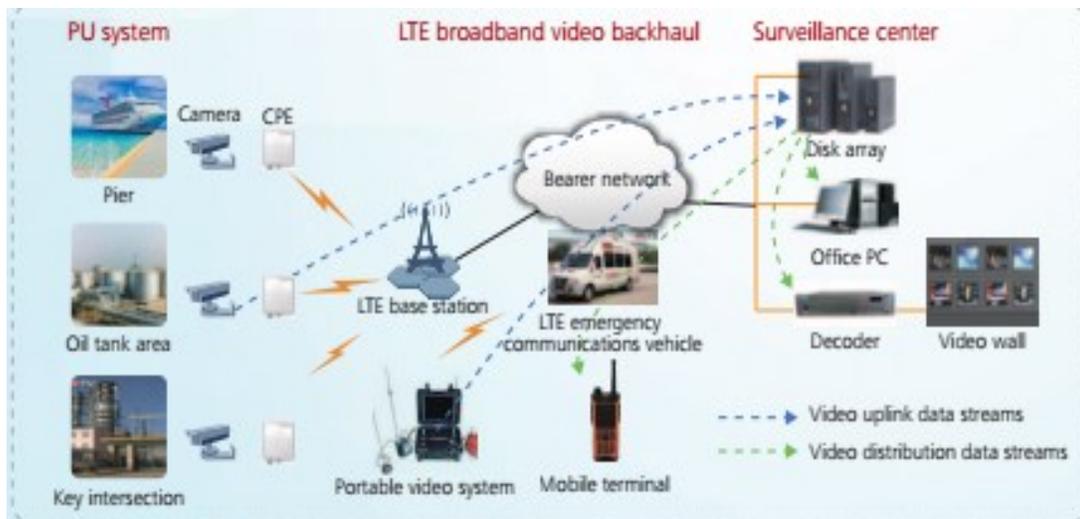


Figura 3.10 Sistema de Video Vigilancia [20]

Pero este mismo modelo se puede llevar a diferentes industrias como por ejemplo:

Seguridad Publica: El personal en los sectores gubernamentales o especializados (policías, bomberos, ambulancias) a menudo deben implementar dos tipos de redes *trunking* – una para voz y otra para servicios de LTE datos - para responder a una variedad de incidentes, de los

accidentes a los desastres naturales. La solución permite no sólo al instante una red PMR fiable, tradicional, sino que además incorpora la prestación de servicios de banda ancha, incluyendo imágenes, datos y vídeo.

Aeropuertos: Para las autoridades del aeropuerto, garantizar la calidad de los servicios de tierra y asegurar que los vuelos salen y llegan a tiempo es crítico para reducir los costos de operación. Además, la red también es compatible con otros servicios de asistencia en tierra, como la transmisión de información video o transmisión de imágenes para situaciones de emergencia.

Puerto: las redes inalámbricas múltiples están diseñadas para ayudar a los operadores portuarios a mejorar la eficiencia del manejo de carga, reducir los costes de explotación, y garantizar la seguridad portuaria; para satisfacer las demandas y objetivos de una empresa portuaria la solución puede proporcionar comunicaciones instantáneas y servicios de banda ancha de video vigilancia.

Red energetica: La DA (*Distribution Automation*) de energía y la AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) juegan un papel importante en las redes energeticas. Las comunicaciones omnipresentes son indispensables para una red de distribución de energía, especialmente en ciudades densamente pobladas y áreas rurales; Sin embargo, en estas zonas, el despliegue de una red por cable es bastante difícil. eLTE se basa en la tecnología más avanzada y se puede instalar de forma rápida. No sólo proporciona el backhaul de la DA y el AMI, sino que también ofrece este tipo de servicios de valor añadido de video vigilancia.

La figura 3.11 muestra un sistema *trunking* eLTE de envío de video más generalizado:

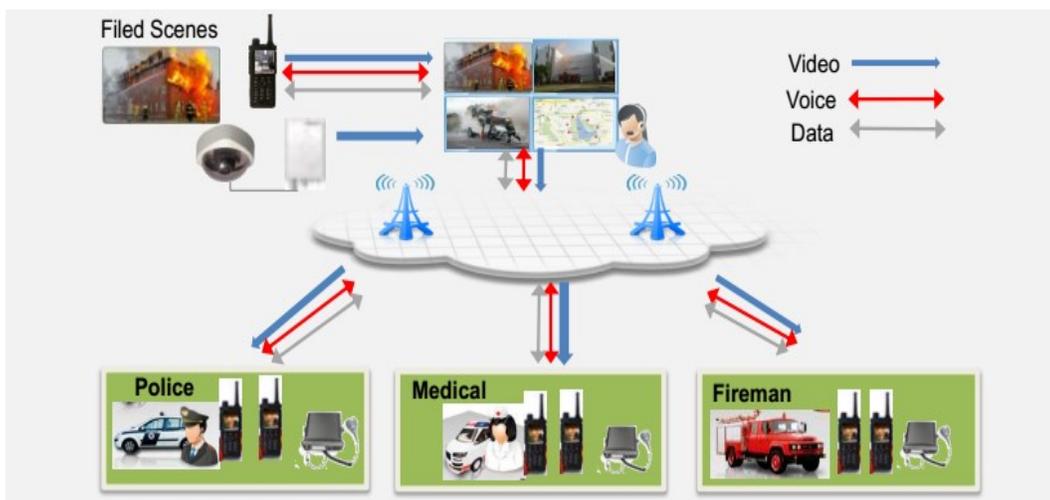


Figura 3.11 Envío de Video [19]

3.3.5. Una misma red compartida por varios departamentos.

Los clientes del gobierno pueden personalizar la arquitectura de red de acuerdo con la configuración o la ubicación de los departamentos como se muestra en la figura 3.12. Este permite el ahorro en el despliegue de la tecnología ya que se necesitan menos equipos y una mejor comunicación entre diferentes sectores.

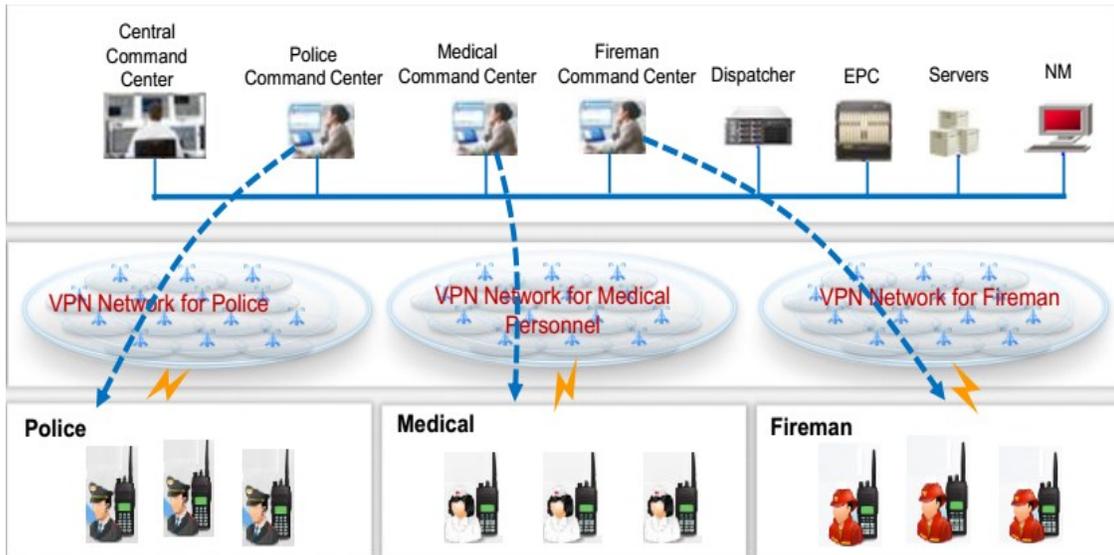


Figura 3.12 Una red con varios departamentos [19]

3.3.6. Interconexión con otros sistemas.

Debido a que en la actualidad Movitel cuenta con otros sistemas *trunking* en funcionamiento, y por el coste que consistiría la total eliminación de los mismos, se propone una subsistencia mediante la cual eLTE funcione se interconecte con dichas soluciones que funcionaría como muestra la figura 3.13 [19].

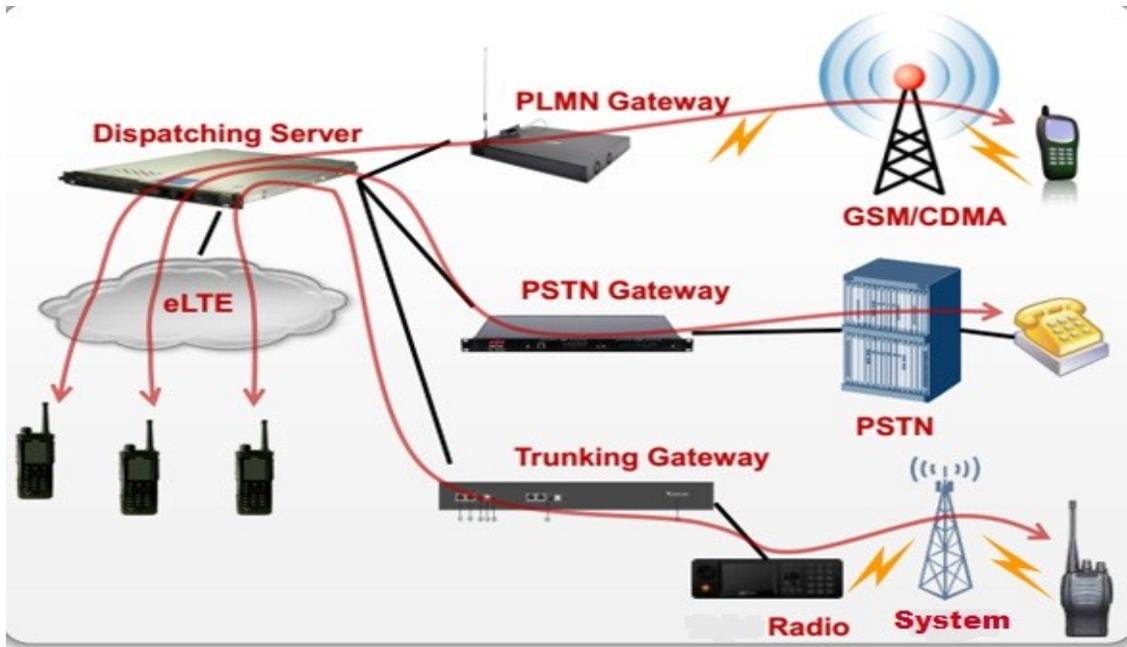


Figura 3.13 Interconexión entre sistemas [20]

3.4. Confiabilidad de diseño de eLTE.

Las soluciones eLTE cuentan con variantes que pueden garantizar la seguridad en el diseño. Una forma de ello es mediante las copias de seguridad de LMPT (*LTE Main Processing Transmission*) y de LBBP (*LTE Baseband Processing*) que se realizan en el eNodeB. En el caso de que se tenga un solo LMPT se utiliza la copia de seguridad inmutable si LMPT falla y los servicios pueden ser recuperados automáticamente en 3 min. Cuando se cuenta con 2 LMPT el eNodeB dice cuál es el activo en el arranque así si el activo falla pasa automáticamente al de reserva. Se recomienda el uso de dos LMPT para garantizar que los servicios sean recuperados con mayor eficiencia y rapidez. Cuando un LBBP en el eNodeB presenta un error, las células en la LBBP se ven afectadas. Un eNodeB puede configurarse con múltiples LBBPs para copia de seguridad LBBP. De esta manera, cuando un LBBP tiene un error, las células en la LBBP se pueden recuperar en otro [15].

Otra vía que se propone para garantizar la seguridad es prestar especial atención a la implementación del software y el hardware de la eCN ya que están diseñados para funcionar en el modo de copia de seguridad y de carga balanceada para garantizar la fiabilidad del sistema. Juntas pueden trabajar en el modo de copia de seguridad o en el modo de carga equilibrada y no presentar fallo de un solo punto [15].

La tabla 3.4 muestra el modo de funcionamiento de la eCN [15].

Tabla 3.4 Funcionamiento de la eCN

Tipo de Placa	Nombre de la Placa	Modo de copia de seguridad
Placa de mantenimiento	OMU(<i>Operation and maintenance unit</i>)	1+1 copia de seguridad en frio
Placa de sistema	SWU(<i>Switch unit</i>)	1+1 carga equilibrada
	SMU(<i>Shelf management Unit</i>)	1+1 copia de seguridad en caliente
Placa de servicio	ESU	1+1 proceso-nivel copia de seguridad hot
Placa de interfaz	USI(<i>Universal service interface</i>)	1+1 copia de seguridad en frio
	SWI(<i>Switch interface</i>)	1+1 carga equilibrada
	SMI(<i>Shelf data module</i>)	1+1 copia de seguridad en caliente
	QXI(<i>Quad-port 10GE rear interface</i>)	1+1 copia de seguridad caliente o 1+1 carga equilibrada

Mediante la anterior propuesta se espera satisfacer las necesidades de migración que presenta el país esperando que su contenido sea útil a Movitel. Esta se basó en aportar una opción, útil y factible, para la migración, del sistema *trunking* existente, hacia un sistema *trunking* digital eLTE.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos propuestos y los resultados alcanzados en este trabajo de diploma se puede llegar a la conclusión:

- Existe un amplio grupo de sistemas *trunking* digitales y analógicos en el mundo, tanto propietarios como libres. Después de analizarlos se llega a la conclusión que la evolución de esos sistemas, para las condiciones de informatización actual de la sociedad, hace necesaria la integración de estos a la tecnología LTE.
- La solución eLTE de Huawei tiene la ventaja de poseer un gran ancho de banda, baja latencia y alta fiabilidad. En comparación con los sistemas tradicionales de despacho, la solución eLTE cuenta con una variedad de ventajas asociados al uso de un sistema de banda ancha como LTE y además mantiene todas las funciones de sistema de despacho tradicionales; siendo compatible con sistemas de despacho y de voz tradicionales. Estos sistemas tienen la capacidad para vincularse con otras tecnologías así como la experiencia para transformar las redes privadas en sistemas de comunicación de banda ancha.
- La propuesta tiene en cuenta todas las características del sistema eLTE y los requisitos que se deben tener en cuenta para su instalación en Cuba. Además, garantiza un diseño seguro y un amplio abanico de aplicaciones. La opción de video vigilancia por ejemplo es muy útil en los puertos como el Mariel y en los aeropuertos. También con la arquitectura de red propuesta se tienen en cuenta problemas como la conexión con otros sistemas ya que primeramente se haría una migración parcial manteniendo los sistemas *trunking* en uso.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de dar continuación al presente trabajo se da lugar a las siguientes recomendaciones:

- Valorar la posibilidad de utilizar un software en el que se pueda implementar la arquitectura de red propuesta y así comprobar su funcionamiento.
- Que el presente trabajo sirva como fuente de estudio e información a estudiantes y profesionales de las Telecomunicaciones interesados en las redes *trunking*.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. J. Sánchez Domínguez, "Diseño de Antenas directivas para comunicaciones Trunking", Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2016.
- [2] E. Aguila Méndez, "Proyecto de digitalización de la red trunking de MOVITEL SA.pdf", Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, 2008.
- [3] J. M. Beltrán, "Sistema Trunking apto para Seguridad Pública.pdf". año-2012.
- [4] Mi. A. Arcos Díez, "Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles terrestres - .htm", *Técnica Industrial*, vol. TI 256, abril-2005.
- [5] "NXDN .htm", 21-may-2016. .
- [6] D. A. Gavafian, "ZTE GoTa Trunk. & CDMA450 Service Workshop Pres- Norway V5.pdf". 2010.
- [7] S. Longley, "DMR Tier II y Tier III: ¿cuál es la diferencia?", *DMR Tier II y Tier III: ¿cuál es la diferencia?*, 29-oct-2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.separa.com/resources/blog/dmr-tier-ii-tier-iii-what's-the-difference/>.
- [8] H. Communication, "1 Hytera DMR UPDATES- SPANISH-Edwin 112011.pdf". mar-2010.
- [9] "dpmr_mode3_digital_trunking.htm", *dpmr_mode3_digital_trunking*, 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.icom.co.jp/world/idas/dpmr/features/dpmr_mode3_digital_trunking.html.
- [10] "TETRA 2 TEDS - Servicio de datos mejorado .htm", 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.radio-electronics.com/info/pmr-business-land-mobile-radio/tetra/tetra-2-teds.php>.
- [11] "Tecnología TETRA_TETRA 2 .htm". 2017.
- [12] "p25_training_guide.pdf". 2004.
- [13] "taitnet_mpt1327_training_manual.pdf". jun-2005.
- [14] "MOVITEL.htm", abril-2017. [En línea]. Disponible en: www.movitel.com.
- [15] "eWBB LTE Professional Broadband Trunking Solution .pdf". 18-sep-2012.
- [16] "Huawei eLTE Broadband Trunking Solution.pdf". 2016.
- [17] "Huawei_1_PPDR.pdf". 15-ene-2016.
- [18] "Huawei eRelay 3.0 Solution Technical White Paper-20130902.pdf". 02-sep-2013.
- [19] "Huawei eLTE Broadband & Multimedia Trunking Solution_AG3.pdf". 18-jul-2014.
- [20] "Intelligent Refinery Plant Wireless Solution.pdf". 2012.
- [21] "Acceso por banda ancha eLTE - Productos de Huawei.htm", 2017. [En línea]. Disponible en: enterprise.huawei.com.
- [22] *R 100-11 Empleo de 450 a 470 MHz Servicio Movil Terrestre .pdf*. 1999.

- [23]“Innovative ICT Empower a Better Connected Smartgrid.pdf”. 2014.
- [24]“Huawei eLTE Trunking Products- eCNS210 Datasheet.pdf”. 2017.
- [25]“Huawei Unified Gateway U1981 Datasheet.pdf”. 2017.
- [26]“Huawei Broadband Trunking Product EG860.pdf”. 2017.
- [27]“Huawei eLTE Trunking Products- EV750.pdf”. 2017.
- [28]“EP630 User Guide(V100R004C10_03)(PDF)-EN.pdf”. 15-nov-2016.
- [29]“EP820 User Guide(V100R004C10_04)(PDF)-EN.pdf”. 20-feb-2017.

ANEXOS

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 1 Cobertura Pinar del Rio[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 2 Cobertura La Habana[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



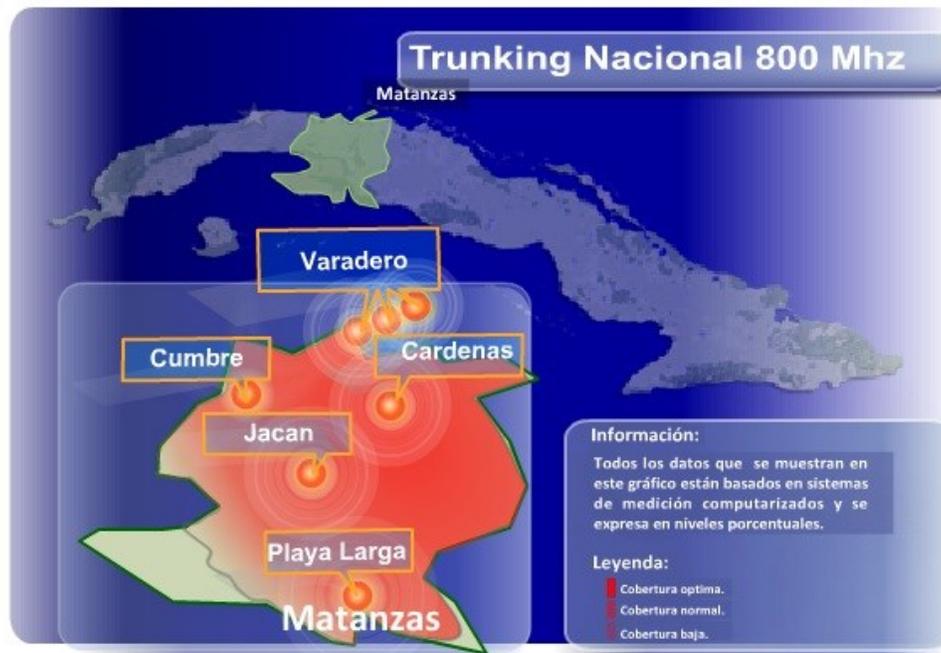
Anexo 3 Cobertura Ciudad de la Habana[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 4 Cobertura Isla de la Juventud[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 5 Cobertura Matanzas[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 6 Cobertura Cienfuegos [14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 7 Cobertura Villa Clara [14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 8 Coberturas Sancti Spiritus[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 9 Cobertura Ciego de Avila [14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::

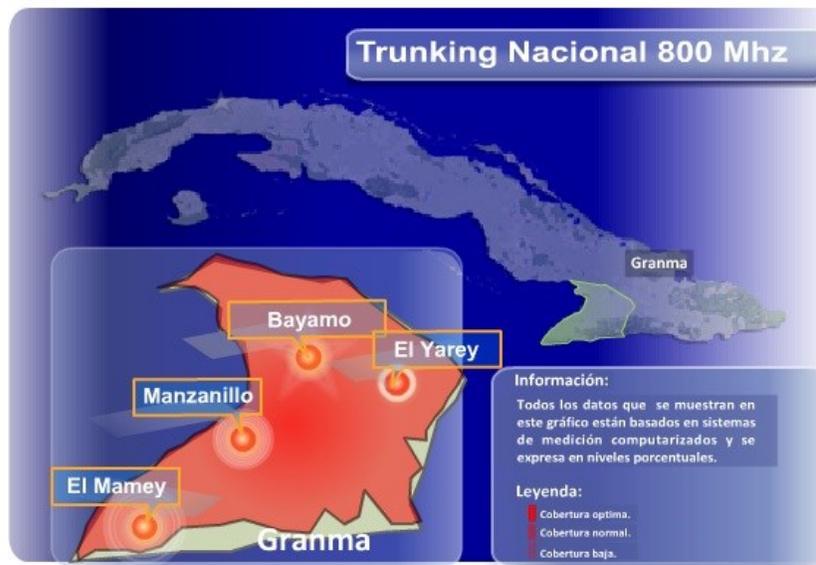


Anexo 10 Cobertura Camagüey [14]

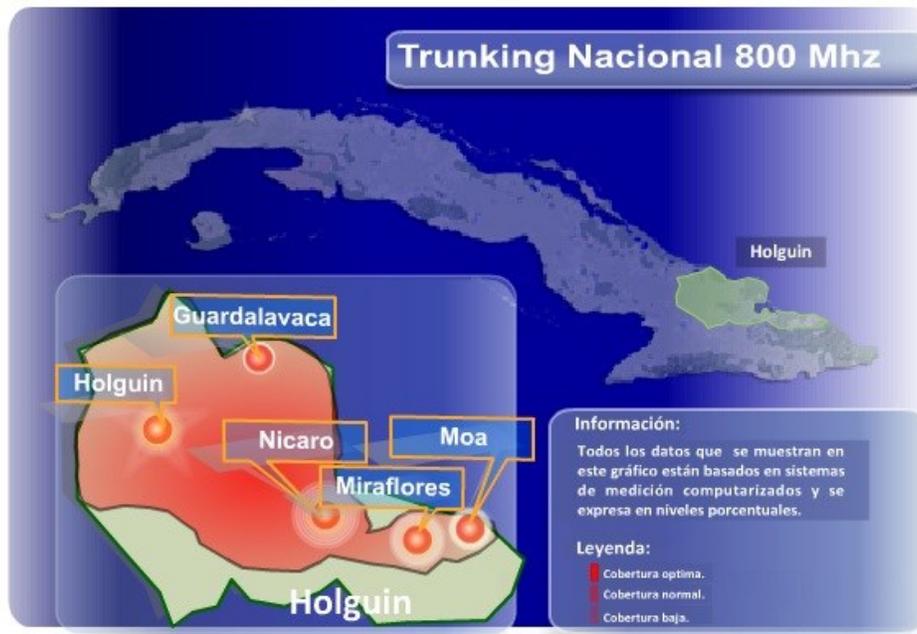
MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::

*Anexo 11 Cobertura Las Tunas[14]*

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::

*Anexo 12 Cobertura Granma[14]*

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 13 Cobertura Holguín[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 14 Cobertura Santiago de Cuba[14]

MAPAS DE COBERTURAS :: Trunking Nacional 800 Mhz ::



Anexo 15 Cobertura Guantánamo[14]