Resumen en español del proyecto

Integration and Testing of TETRA and GSM over Satellite in the Context of e-Triage

(Integración y testeo de TETRA y GSM sobre satélite en el contexto de e-Triage)

Javier Fernández Villares

1. Presentación

1.1 Introducción

El presente proyecto pretende logar la integración de dos tecnologías digitales móviles distintas, TETRA y GSM, en el marco de un proyecto común financiado por el ministerio alemán de educación y desarrollo (Bundesministerium für Bildung und Forschung) denominado e-Triage. El Proyecto e-Triage tiene un objetivo claro: desarrollar un sistema electrónico que permita el registro y la organización de posibles

víctimas en caso de un incidente de graves proporciones con víctimas humanas (MCI, del inglés Mass-Casualty Incident), ya sea este natural, como un terremoto o huracán, o causado por el hombre. Después de un desastre de este tipo es probable que las redes terrestres de comunicaciones estén fuera de servicio, o incluso quizá estas ni siquiera existían previamente. La idea es permitir una distribución rápida y eficiente de la información concerniente a las personas afectadas a los centros de control y de operaciones, así como a los hospitales y centros de ayuda, para conseguir un mejor manejo de todas y cada una de las víctimas. Otra de las principales ventajas de un sistema de este tipo es su dinamismo, puesto que mediante bases de datos asuntos como la priorización de pacientes pueden ser eficientemente logradas. La forma que tiene e-Triage de enfocar el desarrollo de este sistema es, por un lado, diseñar el dispositivo final cuyo cometido es el registro de las víctimas en la zona del desastre; por otro, el diseño de la base de datos distribuida que contiene la información de las víctimas; y por último la infraestructura de comunicaciones necesaria para transmitir los datos de la zona segura a la zona del desastre y viceversa. El presente proyecto está encuadrado en esta última parte de e-Triage.

Mientras que GSM es una tecnología bien conocida, TETRA no lo es tanto. En términos generales, dos tipos distintos de sistemas digitales móviles pueden distinguirse:

- Sistemas públicos de radio digital móvil
- Sistemas privados de radio digital móvil

La principal diferencia entre ambos es el tipo de cliente para el que están destinados; mientras que en los sistemas públicos, como GSM, el propósito de los usuarios es principalmente comunicarse con otros usuarios - además de proporcionar capacidades multimedia y de entretenimiento- en los sistemas privados los usuarios requieren recursos más recursos específicos y, a menudo, especificaciones mucho más exigentes que incluyen establecimientos de llamada muy cortos, rápidos retardos de tiempo y comunicaciones altamente fiables. Como contrapartida, el ancho de banda y las tasas te transferencia suelen ser menores en estos sistemas.

TETRA, del inglés TErrestrial Trunked RAdio, es un tipo de sistema privado de radio. Un sistema privado de radio es normalmente creado por una empresa o un grupo de usuarios a fin de proporcionar servicios móviles de radio. El 'walkie-talkie' es el ejemplo tradicional de esta tecnología, donde los usuarios interactúan unos con otros sin hacer uso de una infraestructura pública como la red telefónica pública conmutada. Por tanto, la primera necesidad de este tipo de sistemas es una nueva infraestructura que permita a los usuarios comunicarse entre sí y disfrutar de los servicios ofrecidos por la tecnología. Se puede afirmar, por decirlo de una manera sencilla, que este es el principal inconveniente de los sistemas privados, la necesidad de desplegar una nueva infraestructura que por supuesto requiere una inversión importante de dinero.

Cabe destacar que como parte de este proyecto, un artículo ha sido presentado y aceptado por el Instituto Americano de Aeronáutica y Astronáutica (AIAA, de inglés American Institute of Aeronautics and Astronautics). Concretamente, en el documento se describe la infraestructura de comunicaciones utilizados en el Proyecto e-Triage.

1.2 Objetivos y estructura de este proyecto

Para alcanzar la integración de TETRA y GSM varios escenarios han sido investigados en el banco de pruebas de TriaGnoSys, primero únicamente con una de las dos tecnologías, TETRA, y a continuación con TETRA junto con GSM. Quizá llegado a este punto sea necesario explicar qué es exactamente TETRA y qué le diferencia de GSM y cómo funciona. Pues bien, ese es el primer punto del proyecto, en donde una visión somera de la tecnología se hace en la misma introducción. El enfoque que se ha hecho de esta manera debido al hecho de que TETRA es una tecnología mucho menos conocida en comparación con GSM. De hecho, el primer y principal problema a lo largo de todo el proyecto fue la casi falta de información sobre TETRA a través de satélite. Aunque algunas otras tecnologías como GSM ya han sido estudiadas e implementadas a través de satélite, TETRA es todavía un campo inexplorado.

Muy brevemente, estos son los pasos que se han seguido en el documento en inglés:

- Breve explicación de e-Triage con el objetivo de enmarcar el presente proyecto en e-Triage (Capítulo 2).
- Estudiar y comprender los principios que rigen TETRA, una tecnología basada en interfaces. Dado que GSM es una tecnología mucho más conocida, su explicación no es tan grande y se va a haciendo sobre la marcha y por la comparación con TETRA (Capítulo 3).
- Estudio de la viabilidad de TETRA y GSM por satélite (capítulo 4).

Estos primeros cuatro capítulos pueden verse como la parte teórica del proyecto. El resto corresponde a la parte práctica, por así decirlo.

- Definición de la arquitectura propuesta y explicación de los equipos utilizados, y cómo el enfoque teórico explicado en los capítulos precedentes se ve modificado por la aplicación real (Capítulo 5).
- Aplicación real de los escenarios que se van a estudiar (Capítulo 6).
- Resultados, conclusiones y tests que han quedado por realizar (Capítulo 7).

En el presente documento se ha decidido utilizar una organización ligeramente distinta en pro de una mejor claridad de conceptos dada la menor extensión de este resumen. Para ver una discusión pormenorizada de TETRA o ver los resultados completos de los tests llevados a cabo se remitirá al lector al proyecto original, escrito en inglés.

2. e-Triage

Directamente desde Wikipedia:

"Triaje (del francés triage) es un método de la medicina de emergencias y desastres para la selección y clasificación de los pacientes basándose en las prioridades de atención, privilegiando la posibilidad de supervivencia, de acuerdo a las necesidades terapéuticas y los recursos disponibles. Trata por tanto de evitar que se retrase la atención del paciente que empeoraría su pronóstico por la demora en su atención. Un nivel que implique que el paciente puede ser demorado, no quiere decir que el diagnóstico final no pueda ser una enfermedad grave. Ya que un cáncer, por ejemplo,

puede tener funciones vitales estables que no lleve a ser visto con premura. Prioriza el compromiso vital y las posibles complicaciones.

Según el Diccionario de la Real Academia (DRAE) el término triaje no existe, aunque se ha convertido en un vocablo de uso común en servicio de urgencias hospitalarias. El término correcto sería clasificación. [...] Este término se emplea para la selección de pacientes en distintas situaciones y ámbitos. En situación normal en las urgencias extra-hospitalarias y hospitalarias. Así como en situaciones de demanda masiva, atención de múltiples víctimas o de desastre. En situación normal se privilegia la atención del paciente más grave, el de mayor prioridad (e.g. paro cardíaco). En situaciones de demanda masiva, atención de múltiples víctimas o desastre se privilegia a la víctima con mayores posibilidades de supervivencia según gravedad y la disponibilidad de recursos."

En otras palabras, e-Triage (o triage electrónico) consiste en un sistema electrónico para determinar y organizar las necesidades de los pacientes. Hoy en día, la organización se logra por medio de fichas o tarjetas que se fijan a los pacientes normalmente por medio de pinzas fijadas en la ropa. Este método complica la organización y obstaculiza gravemente la organización de prioridades, por no mencionar la falta de dinamismo a la hora de actualizar la lista o añadir nuevos pacientes.

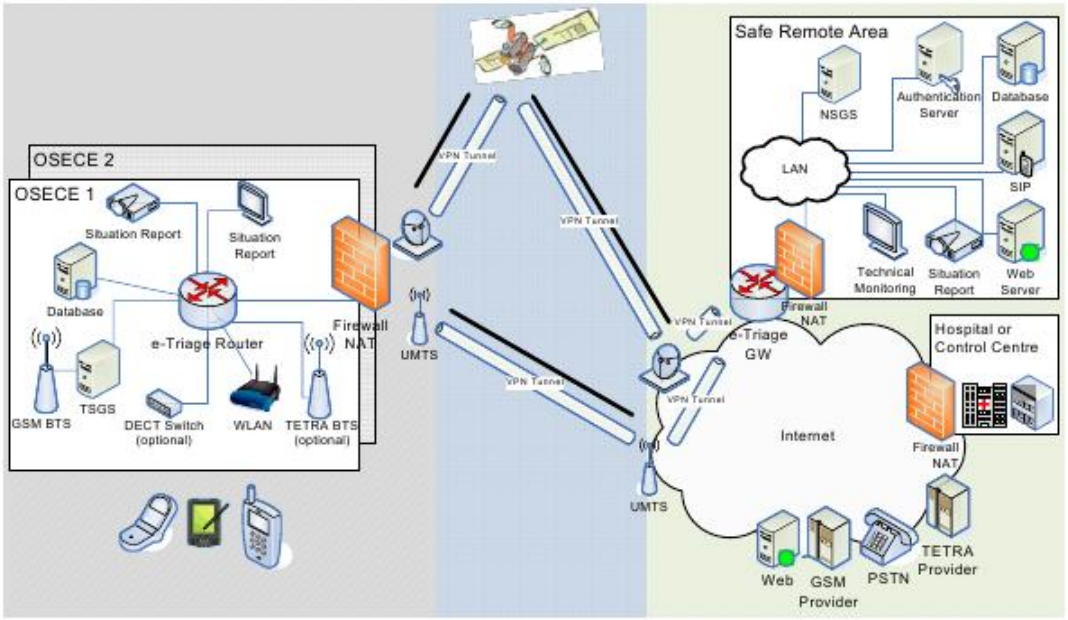

Figure 1

Con el fin de facilitar el diseño de todo el sistema, el procedimiento de diseño está dividido en tres partes distintas: el sitio del desastre (on-site segment), que es la ubicación donde el MCI tuvo lugar; el área remota segura, donde las fuerzas de rescate, hospitales y centro de control se encuentran; y el ámbito de transporte, que comprende todas las comunicaciones entre las dos partes anteriores. La Figura 2.1 muestra esta separación con diferentes colores (gris para el sitio del desastre, azul para el dominio de comunicaciones, y verde para la zona segura).

La Figura 2.2 muestra la arquitectura funcional, donde una jerarquía más detallada de cada parte del sistema ha sido esquematizada.

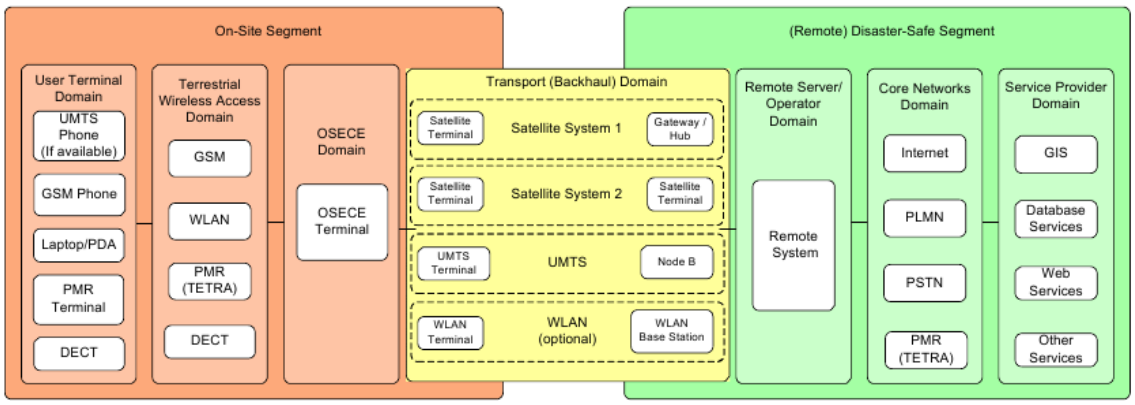

Figure 2

La parte más importante para este proyecto es la zona del desastre. En un escenario general, dos elementos diferentes pueden encontrarse en esta zona: los agentes móviles (MA en inglés, de Mobile Actor) y en el lugar equipos de comunicaciones de emergencia (OSECE, de On-Site Emergency Communications Equipment). Un agente móvil es un miembro de las fuerzas de rescate que realiza las tareas de búsqueda de víctimas en el campo, ya sea para llevar a cabo la operación de rescate o para el transporte de las víctimas a los hospitales o campamentos de socorro, una vez que ya han sido inscritos y clasificados en la etapa anterior. Los actores móviles deben estar conectados a un determinado OSECE con el fin de transmitir los datos de las víctimas que vayan encontrando de forma que queden registradas. Además de esto, otros tipos de servicios para transportar voz y/o datos pueden ser recogidos por los OSECEs procedentes de los distintos actores móviles. Con el fin de establecer estas comunicaciones, los agentes móviles pueden utilizar terminales de

usuario distinto tipo, tales como ordenadores portátiles o PDAs equipadas con WLAN, GSM/GPRS o TETRA. Los OSECEs proporcionar la cobertura necesaria para todas estas tecnologías (ver Figura. 2.3).

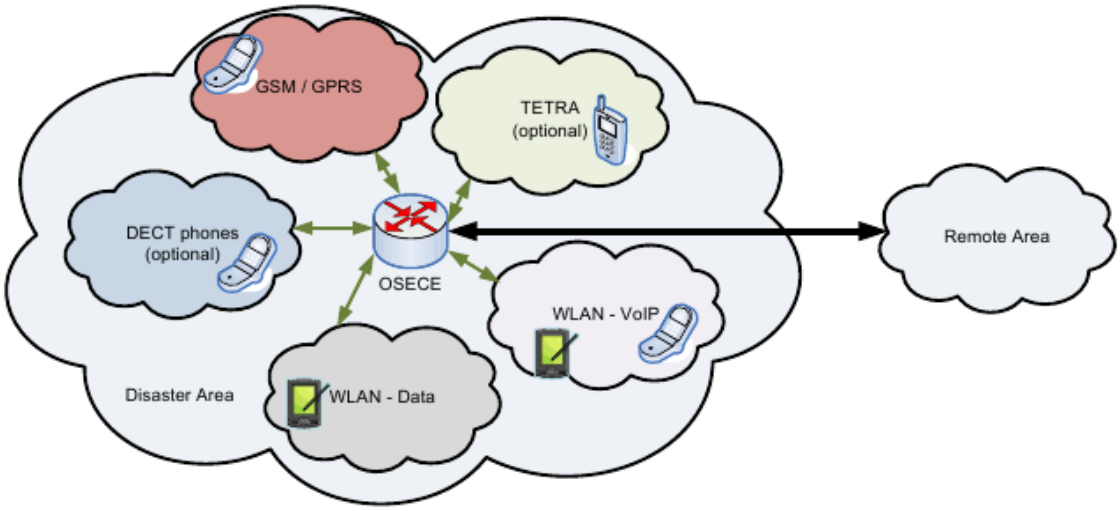

Figure 3

Los OSECEs se pueden integrar bien en un dispositivo del tamaño de un maletín o bien en un vehículo tipo furgoneta.

- ECS (Emergency Communications Suitcase), o maletín de comunicaciones de emergencia: este dispositivo ofrece GSM/GPRS y WLAN y se conecta con la zona remota segura a través de una antena Inmarsat-BGAN o por UMTS.
- CPCE (Coordination Point Communications Equipment), o punto de coordinación de comunicaciones: ofrece GSM/GPRS, WLAN, DECT (opcional), y TETRA y está conectado con el área remota a través de VSAT o mediante UMTS.

Puesto que el presente proyecto trata de integrar GSM y TETRA sólo el caso de CPCE es pertinente. A día de hoy ya existe un maletín de prueba en TriaGnoSys.

3. TETRA y GSM

3.1 Ventajas de TETRA sobre GSM

- Establecimiento de llamada más rápido, o lo que es lo mismo, el tiempo que transcurre desde que el terminal que llama presiona el botón de llamada hasta

que el primer paquete de voz llega al terminal que recibe la llamada. Mientras que en GSM este tiempo varía normalmente entre 3 y 4 segundos, en TETRA es siempre inferior a 300 ms, con una duración máxima de 230 ms[1].

- Llamadas en grupo, de difusión y de broadcast. Mientras que el estándar de GSM sólo proporciona llamadas individuales, TETRA también permite a los usuarios mantener llamadas entre varios usuarios, aunque estas son siempre simplex (en una sola dirección), así como escenarios punto a multipunto. Esto puede resultar de gran ayuda a la hora de organizar tareas entre los grandes grupos de personas, como personal de primera respuesta o las fuerzas de seguridad en el caso que nos ocupa.
- Priorización de llamadas y otros recursos. TETRA permite priorizar unas llamadas frente a otras mediante la creación de perfiles. Esto puede ser útil para asegurar el uso del sistema en caso de sobrecarga de este (por ejemplo, en un escenario simplificado de e-Triage, las llamadas de asistencia médica podrían ir en primer lugar, luego llamadas a la seguridad y por último llamadas a civiles).
- Cifrado. Mientras que GSM fue diseñado con un nivel moderado de seguridad TETRA contiene varios mecanismos de seguridad que aseguran encriptación total en todo el enlace.
- Mayor cobertura. Con una cobertura teórica de hasta 58 km., TETRA es la tecnología que permitiría un mayor alcance de entre las disponibles en e-Triage.
- El modo directo de operación (DMO, del inglés Direct Mode Operation), más comúnmente conocido como el 'modo walkie-talkie', es probablemente la característica más importante que distingue a TETRA de otras redes de telefonía móvil. Permite a los usuarios comunicarse entre sí sin usar la red troncal. Esto implica, entre otras características, que la comunicación entre terminales más allá de la cobertura de la red es posible. Dos móviles pueden establecer comunicación hasta una distancia teórica de 1 km.

[1] Este requisito es válido dentro de una única célula de TETRA. Sería irreal esperar tiempos del orden de 300 ms. en comunicaciones de larga distancia debido al retardo de propagación, por no hablar del caso en el que satélites se vean involucrados en el enlace.

3.1 Arquitecturas de TETRA y GSM

Tal vez la mejor manera de obtener una idea rápida e intuitiva de un nuevo sistema es mostrar una imagen de su arquitectura. Una posible arquitectura de red de TETRA se muestra en la Figura 5. ¿Por qué posible? A diferencia de GSM, en donde el estándar define exactamente los elementos que componen la red (ver Figura 4), TETRA es una tecnología definida en función únicamente de sus interfaces.

Dicho de otra forma, cómo está dispuesta la red interiormente no importa, es asunto exclusivo de los fabricantes. Sin embargo, éstos han de comprometerse a que sus interfaces se entiendan las unas con las otras, a que todos los dispositivos TETRA hablen 'el mismo lenguaje', por decirlo de alguna forma.

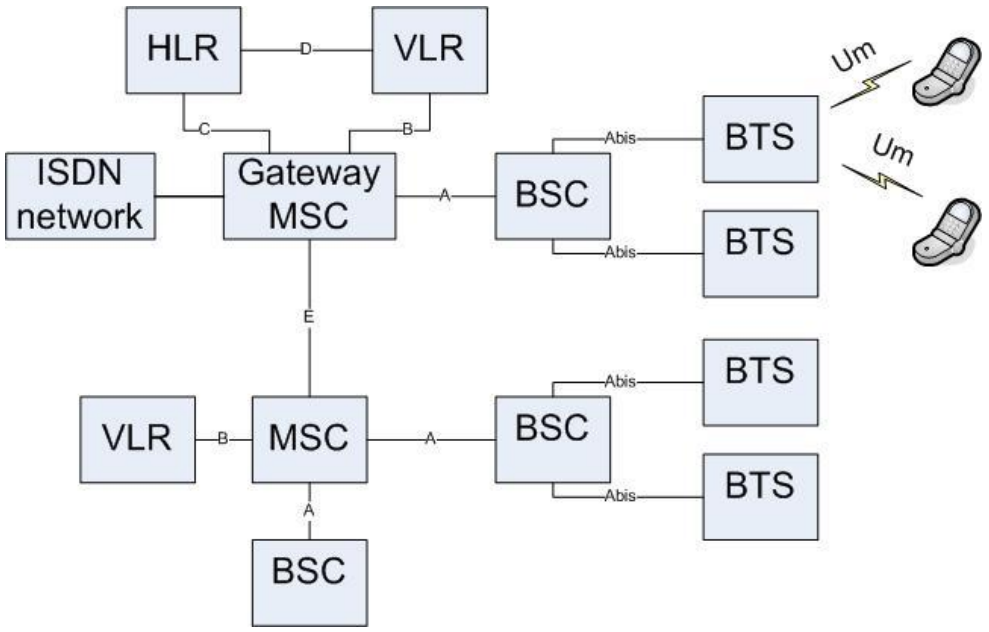

Figure 4

Existen hasta seis interfaces distintas definidas por la ETSI. Las cuatro más importante han sido dibujadas en la figura 5.

- Air interface o interfaz aire: estandariza la conexión entre la estación base y los terminales de radio. En otras palabras, asegura la interoperabilidad de estaciones móviles de distintos fabricantes con las redes TETRA.

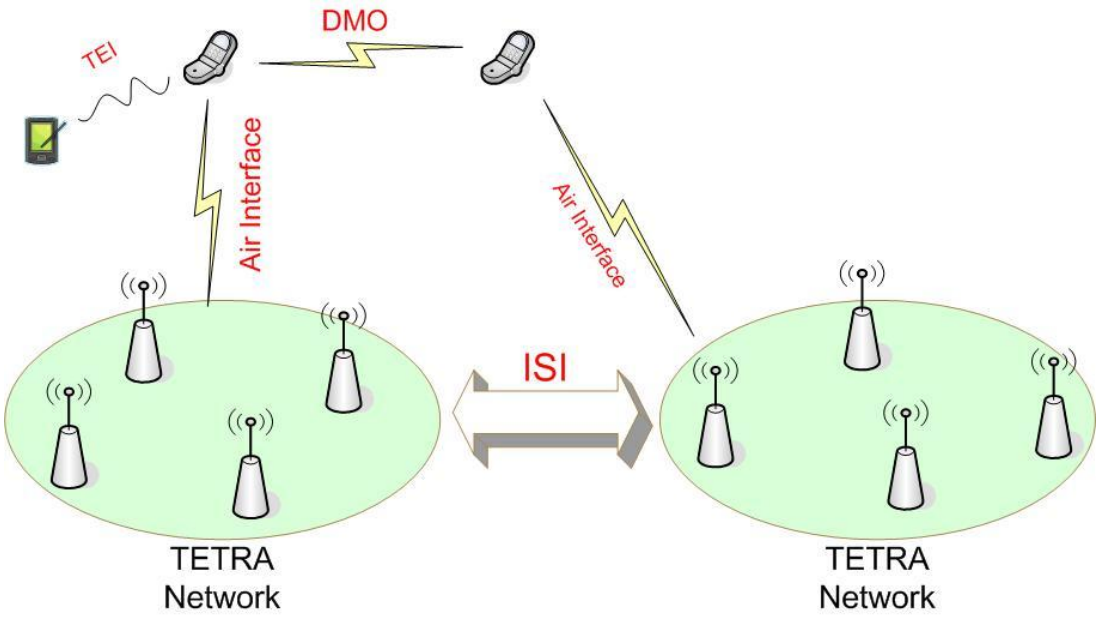

Figure 5

- Terminal Equipment Interface (TEI): esta interfaz estandariza la conexión entre terminales externos y las estaciones móviles TETRA (los teléfonos TETRA).
- Direct Mode Operation (DMO) o modo de funcionamiento directo: asegura la comunicación terminal a terminal ('walkie-talkie'). Dado que no precisa uso de la red central permite la comunicación de terminales TETRA más allá de la zona de cobertura.
- Inter-System Interface (ISI). Permite la interconexión de distintas redes TETRA entre sí aunque estas pertenezcan a distintos fabricantes. En el presente proyecto esta será la principal interfaz bajo estudio ya que es la interfaz que va a ser llevada sobre satélite.

Además de estas cuatro interfaces existen otras dos que no han sido usadas en este proyecto y que poseen aplicaciones muy específicas. Son la interfaz de estación línea (Line Station Interface, LSI) y la interfaz de control de red (Network Management Interface, NMI). La primera de ellas está diseñada para terminales especiales que se conectan la red troncal vía cable, y la segunda proporciona control remoto de red.

Además de esto, existen en TETRA dos modos básicos de operación:

- El *trunked mode* o modo V+D (*Voice plus Data*). De forma simplificada, este es el modo en el cual una estación base ofrece cobertura a terminales que se encuentren en su zona y permite la transferencia tanto de datos como de voz, siendo esta última el uso más empleado.
- El modo directo (DMO, *Direct Mode Operation*), ya mencionado anteriormente, que permite a los terminales de usuario comunicarse los unos con los otros sin necesidad de usar la red troncal. El funcionamiento es similar al del conocido *walkie-talkie*[2].

En el caso que nos ocupa, en el contexto de e-Triage, sólo resultara de interés el modo V+D ya que es el que va a ser llevado sobre satélite[3].

Por último, se presenta una tabla resumen con las principales características de TETRA.

Parámetro	**Valor**
Espacio entre portadoras	25 kHz
Modulación	pi/4-DQPSK
Tasa de bit de portadora	36 kb/s
Códec de voz	ACELP (7.2 kb/s tras la codificación)
Método de acceso al medio	TDMA with 4 time slots/carrier
Tasa de bit de usuario (por canal)	7.2 kb/s per time slot
Máxima tasa de bit (usando 4 canales)	7.2 x 4 = 28.8 kb/s
Máxima tasa de bit, con protección baja	4.8 x 4 = 19.2 kb/s
Máxima tasa de bit, alta protección	2.4 x 4 = 9.6 kb/s

[2] En realidad en TETRA existen tres modos de funcionamiento, siendo el tercero de ellos el Packet Data Optimised (PDO). Es el menos conocido debido a su falta de uso comercial. Este modo está pensado para transmitir únicamente datos –y no voz- en una red de conmutación de paquetes. Curiosamente, el trabajo de estandarización de este modo ha continuado por otras vías, en concreto por el proyecto MESA, un grupo de colaboración creado por la ETSI y la TIA.

[3] Por otro lado, es importante diferenciar el funcionamiento en modo directo con la interfaz. Pese a recibir el mismo nombre, DMO, uno se trata de un modo de funcionamiento existente en TETRA y el otro es un estándar que permite la comunicación entre terminales. Conviene aclarar este punto.

4. TETRA y GSM sobre satélite

La figura 6 muestra un escenario simplificado de la arquitectura de e-Triage que servirá como base para el estudio de futuros escenarios. En pro de una mayor claridad se ha ilustrado únicamente el área de cobertura de TETRA aunque, como ya ha sido explicado anteriormente y reflejan las figuras 1 y 3, existen más tecnologías presentes en el área del desastre.

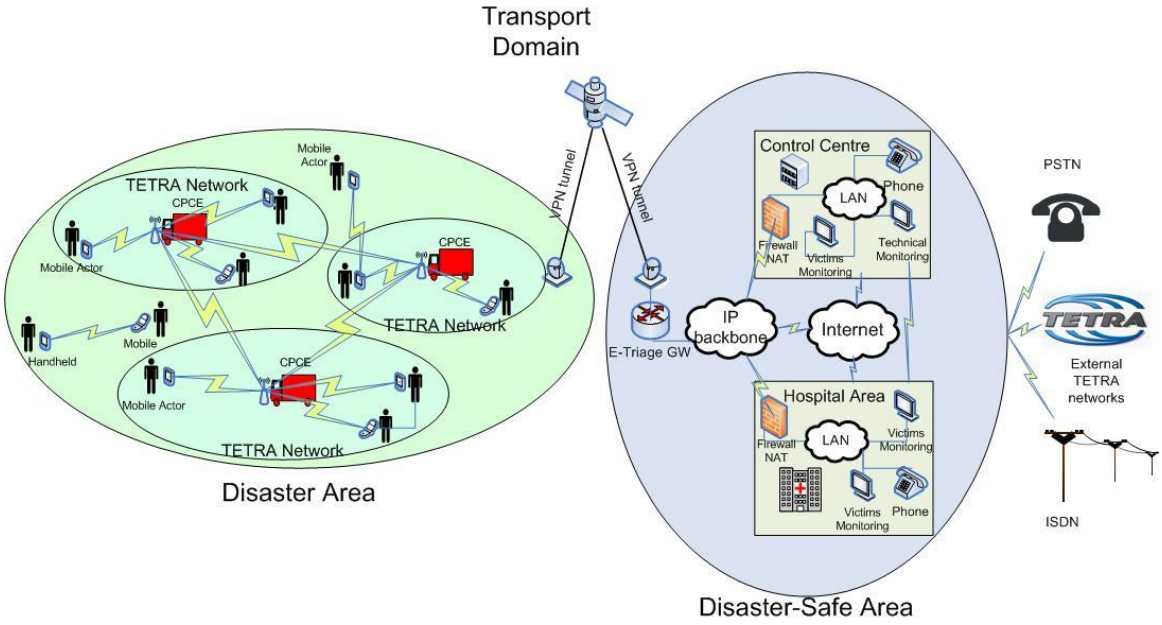

Figure 6

Como puede observarse en la figura, sólo aparece una conexión sobre satélite en el área remota (la red TETRA más a la derecha). Esto sin embargo no significa que existirá un único CPCE que pueda comunicarse (sobre satélite) con el área remota segura, pero debido a que el ancho de banda sobre satélite es el recurso más escaso, la solución planteada más viable consiste en redireccionar los paquetes IP dentro de la zona del desastre para reducir el número de CPCEs o ECSs que consumen ancho de banda sobre satélite. Nótese como todos los OSECES, ya sean CPCE o ECS, estarán conectados entre sí mediante una tecnología inalámbrica, posiblemente WLAN. Asuntos que *a priori* pueden parecer conflictivos, como la forma que tiene e-Triage de interconectar a los OSECEs cuya distancia supera el alcance de WLAN, es algo que no concierne a este proyecto y por tanto se dará por hecho de ahora en adelante.

Nótese también como dentro de cada CPCE y ECS existe un router al cual van a parar todos los datos enviados desde las distintas tecnologías presentes en e-Triage (GSM, WLAN o TETRA, entre otros), en donde todos los paquetes convergen y son mandados juntos independientemente de su tecnología de origen. Este proceso es relativamente sencillo, y completamente transparente para los usuarios, debido a la naturaleza IP de todas las tecnologías involucradas, incluido TETRA. En la zona remota segura, el e-Triage Gateway (e-Triage GW) se hará cargo de demultiplexar estos paquetes IP y redireccionarlos a donde sea pertinente. Una vez procesados, pueden acabar en la Red Telefónica Conmutada, en la Red Digital de Servicios Integrados o en otras redes TETRA, entre otros. En otras palabras, tanto TETRA como GSM son capaces de realizar llamadas y enviar datos a terminales de 'tecnologías gemelas' como GSM o UMTS.

En el caso de TETRA, el equipo utilizado, TetraFlex© de DAMM, la salida de controlador es 100% IP a una tasa de bit de 64 kbps. Esto implica que la explicación teórica sobre ISI sobre satélite no se aplica puesto que la salida de la BSC va conectada a un router, y para el router los paquetes TETRA son indistinguibles de los de otras tecnologías.

El caso de GSM sobre satélite es algo más complejo y viene reflejado en la figura 7. Como puede observarse, la interfaz A-bis es la que se ha llevado sobre satélite. Volviendo a la figura 4 que representa un esquema general de GSM se ve como esa es la interfaz existente entre la BTS y la BSC. La figura 7 muestra como la BTS se conecta vía Ethernet a un router que contiene un software llamado Terminal Side GSM Server (TSGS). Este dispositivo está directamente conectado al satélite, que envía la información hasta la antena en el otro lado y va a parar al Network Side GSM Server, otro router que entrega la información a la BSC. Para ver el funcionamiento de este proceso de forma más detallada se remite al lector al proyecto original en inglés.

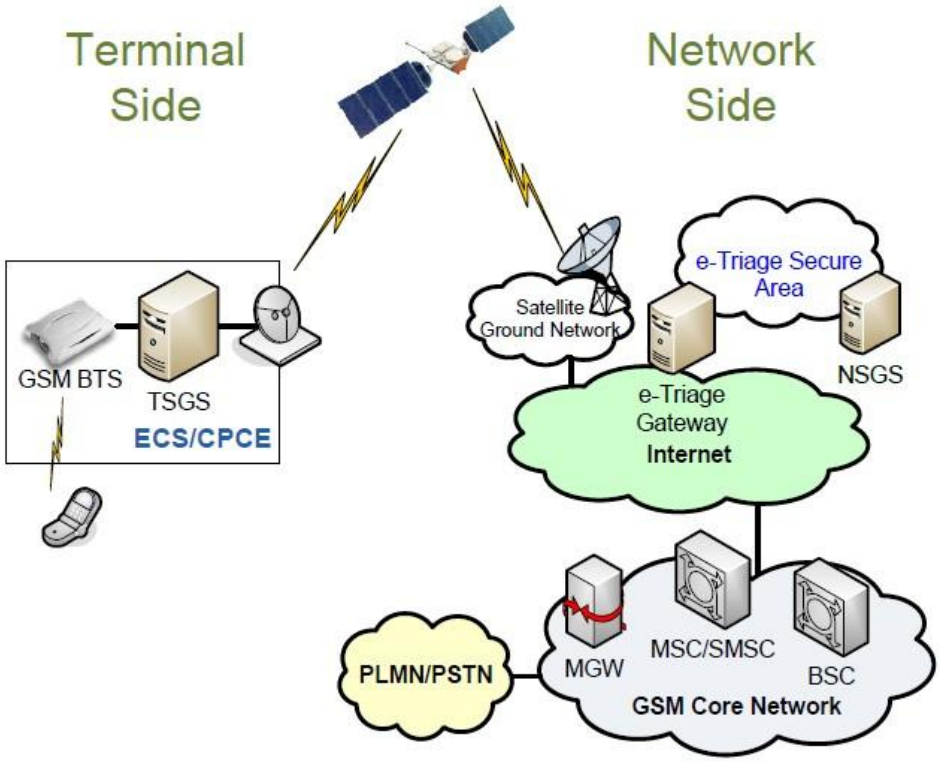

Figure 7

La figura 8 muestra otro escenario simplificado de la arquitectura que va a ensayarse en este proyecto. Debido a que hemos dispuesto únicamente de una estación base y un controlador tanto de TETRA como de GSM sólo se ha testeado el caso de una célula en el área del desastre (una célula TETRA y otra GSM).

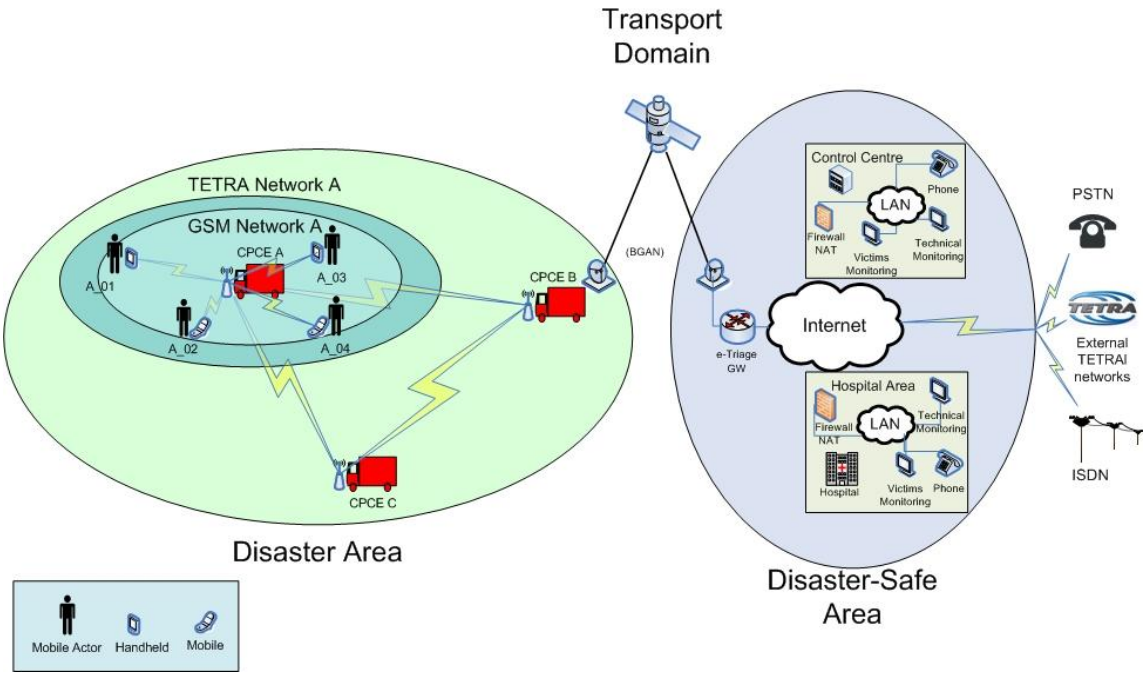

Figure 8

5. Arquitectura y tests

La integración de ambas tecnologías se ha logrado mediante un router con un PC instalado en su interior. En este PC se encuentra por un lado la BSC el MSC de GSM implementados vía software; por otro, Asterisk controla la interconexión de ambas tecnologías. Asterisk es una implementación software de un Private Branch Exchange (PBX), cuya traducción al español sería Central Secundaria Privada Automática. En esencia no es más que una central telefónica que opera para una red o negocio privado, en contraposición a las centrales telefónicas que operan para telefonía pública. En Asterisk se configura una conexión a un servidor SIP para poder realizar llamadas sobre IP.

Hay dos arquitecturas distintas que se han simulado: con la red troncal de GSM en la zona del desastre y con la red troncal de GSM en la zona segura. El equipo perteneciente a TETRA (BTS+BSC) siempre estará situado en la zona del desastre.

5.1 Red troncal de GSM en la zona del desastre

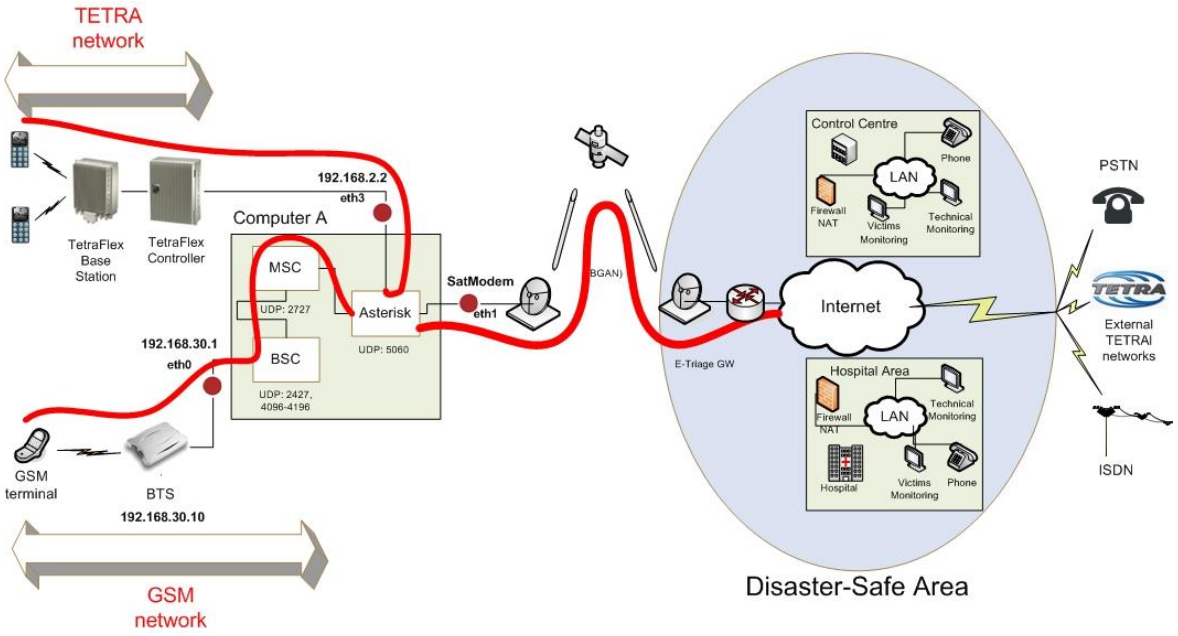

Figure 9

El elemento denominado como 'Computer A' es el router servidor mencionado que contiene la red troncal de GSM (MSC + BSC) y también Asterisk. Los archivos de

configuración de Asterisk pueden ser consultados en el Apéndice C del proyecto original en inglés.

Se han realizado diversos tests de llamadas desde la zona del desastre a líneas fijas y móviles comerciales para probar e funcionamiento del sistema desarrollado. Tres tests son presentados en este documento para hacerse una idea de los resultados obtenidos. Para ver todos los tests realizados y sus conclusiones se remite al lector el proyecto original en inglés.

5.1.1 Llamada de un terminal TETRA a un móvil comercial de GSM

A. Torre de protocolos: datos

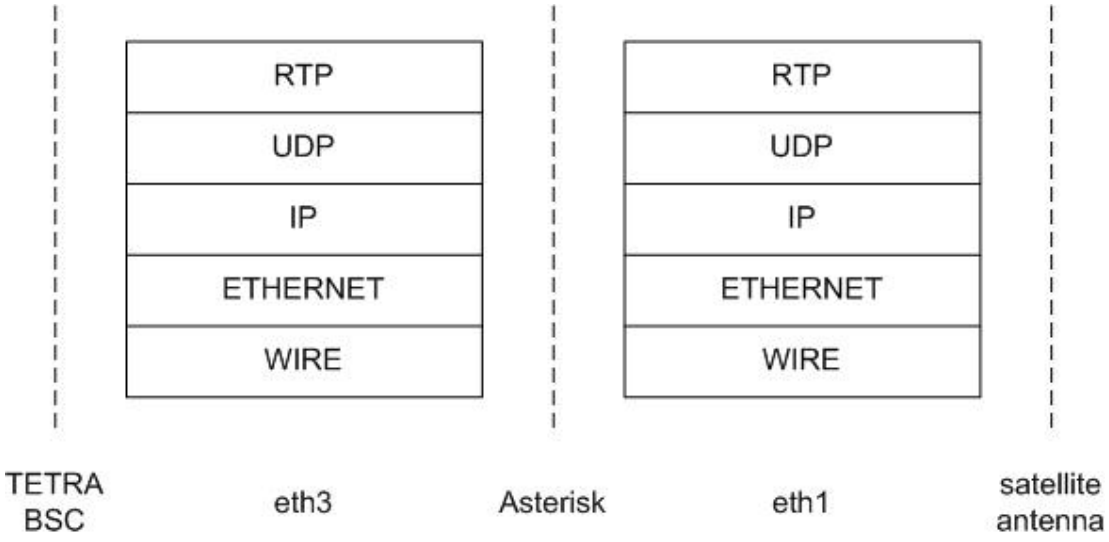

Figure 10

B. Torre de protocolos: señalización

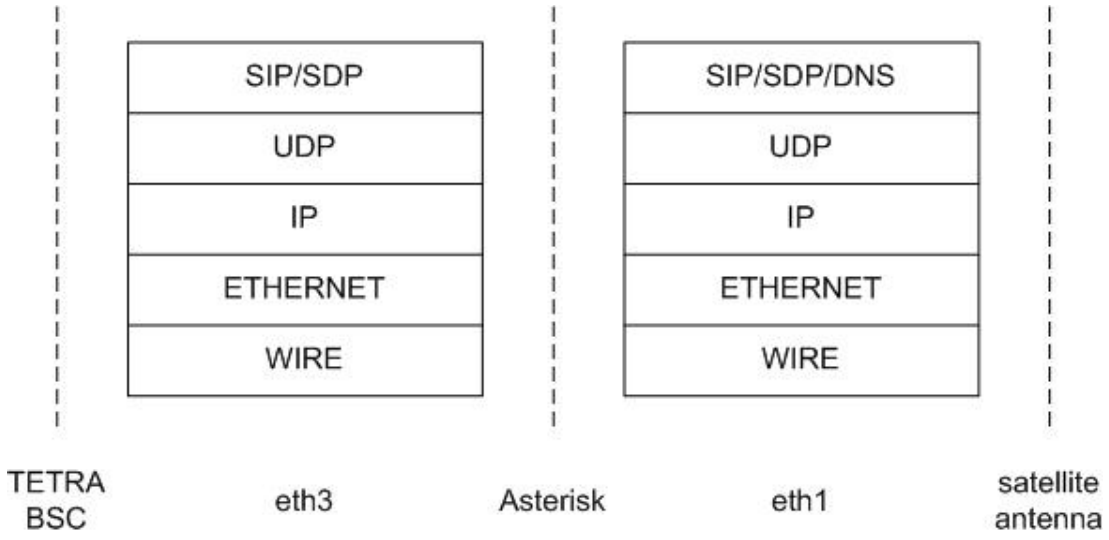

Figure 11

C. Throughput in the eth3 interface

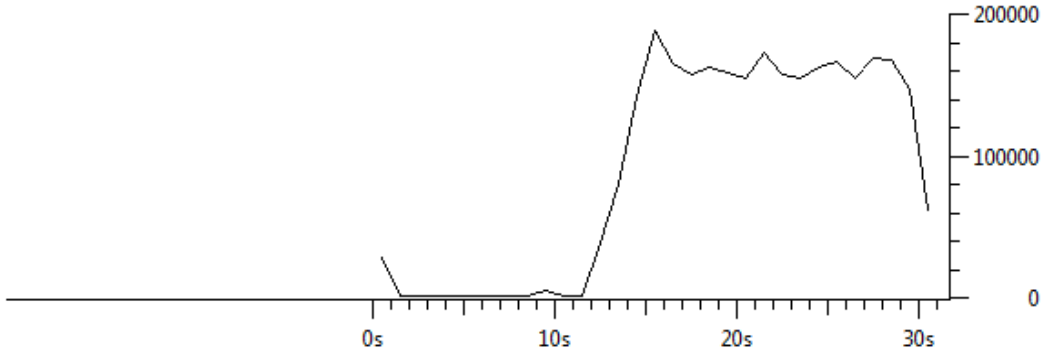

Figure 12

D. Throughput in the eth1 interface

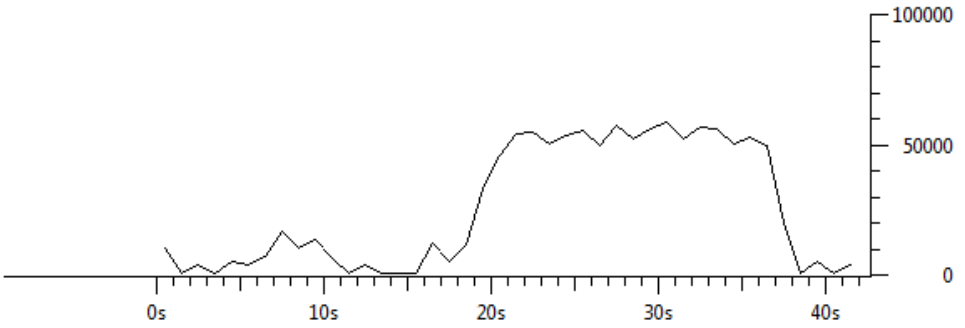

Figure 13

5.2 GSM in the safe-disaster area

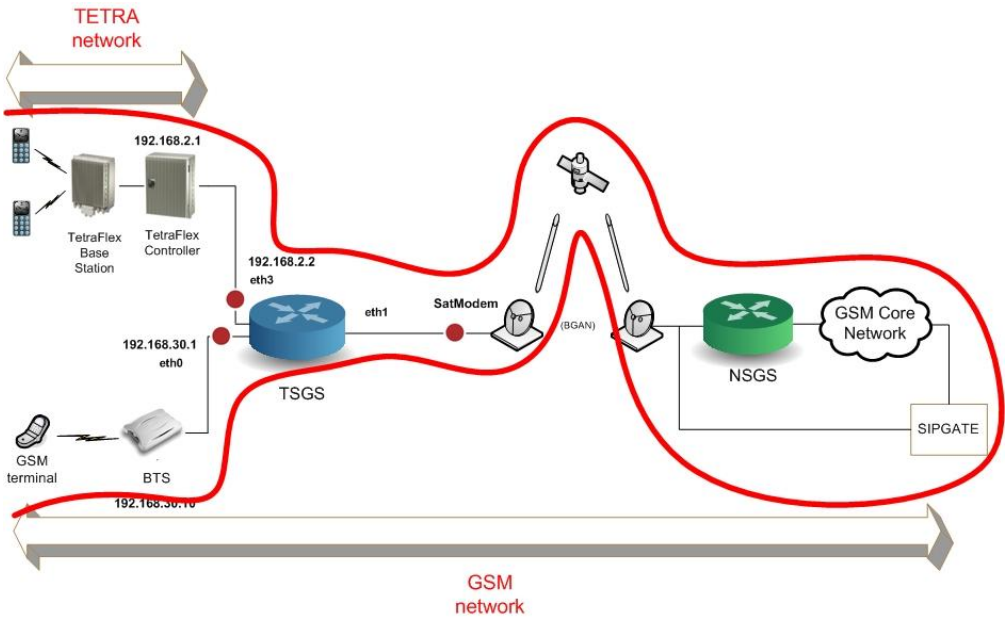

Figure 14

5.2.1 Llamada de un terminal TETRA a una línea de teléfono fija

A. Torre de protocolos: datos

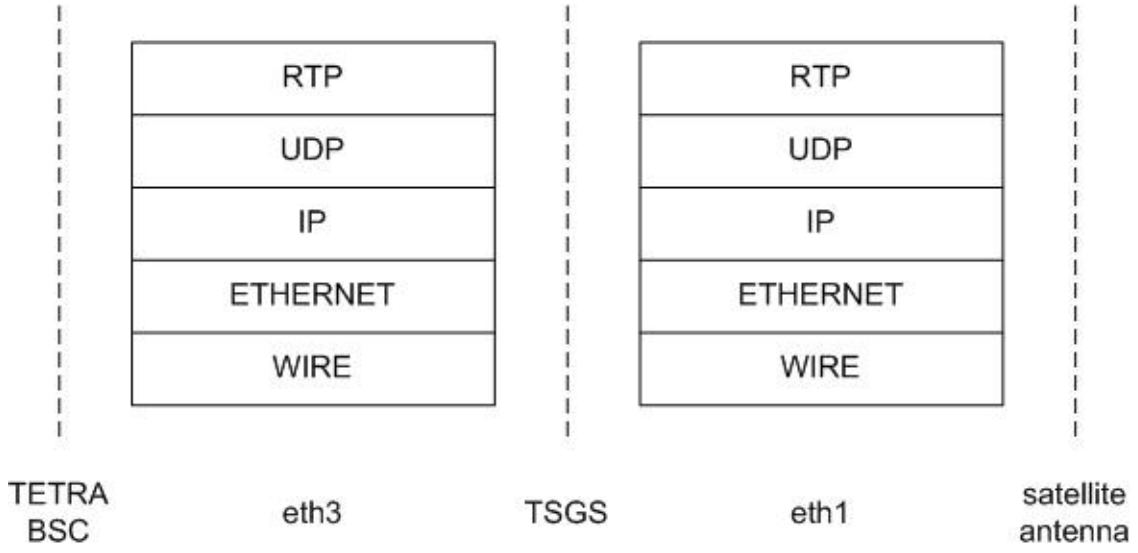

Figure 15

Figure 16

B. Torre de protocolos: señalización

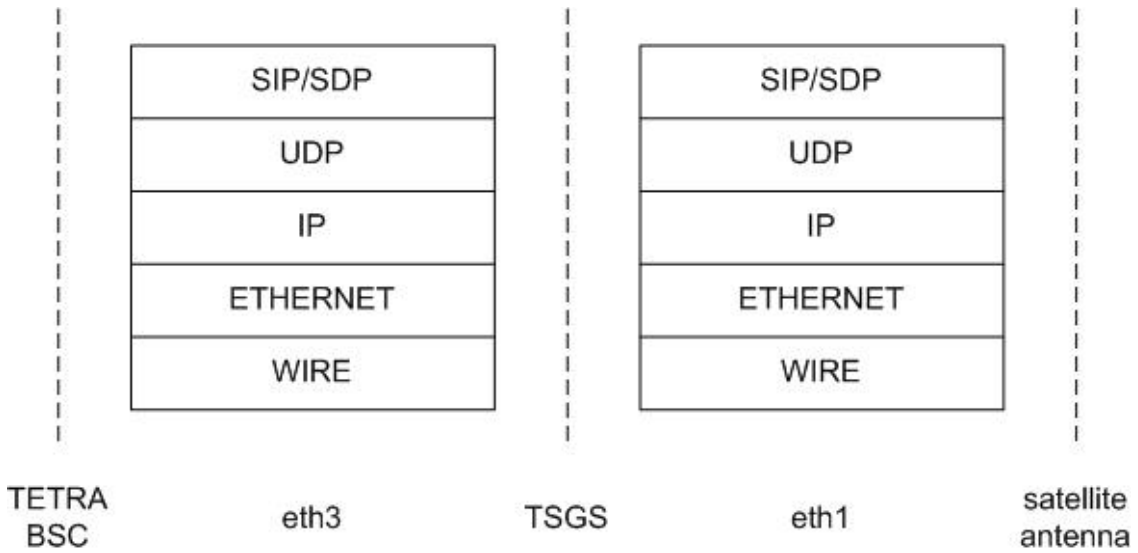

Figure 17

C. Throughput in the eth3 interface

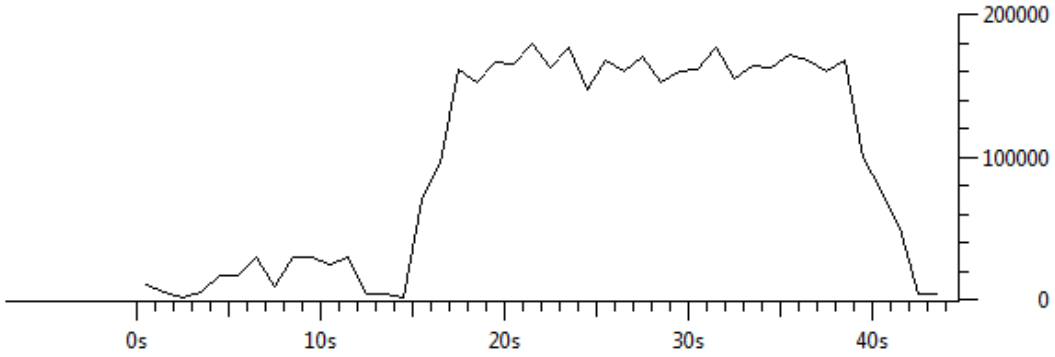

Figure 18

D. Throughput in the eth1 interface

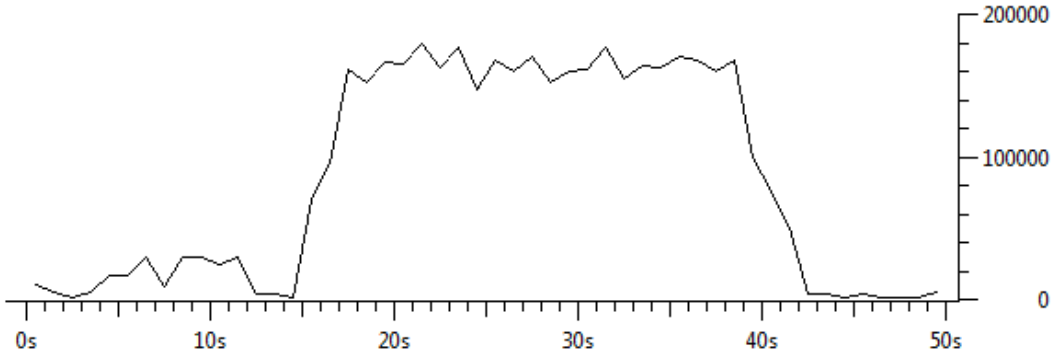

Figure 19

5.2.2 Llamada de un terminal GSM a un terminal

A. Torre de protocolos: datos

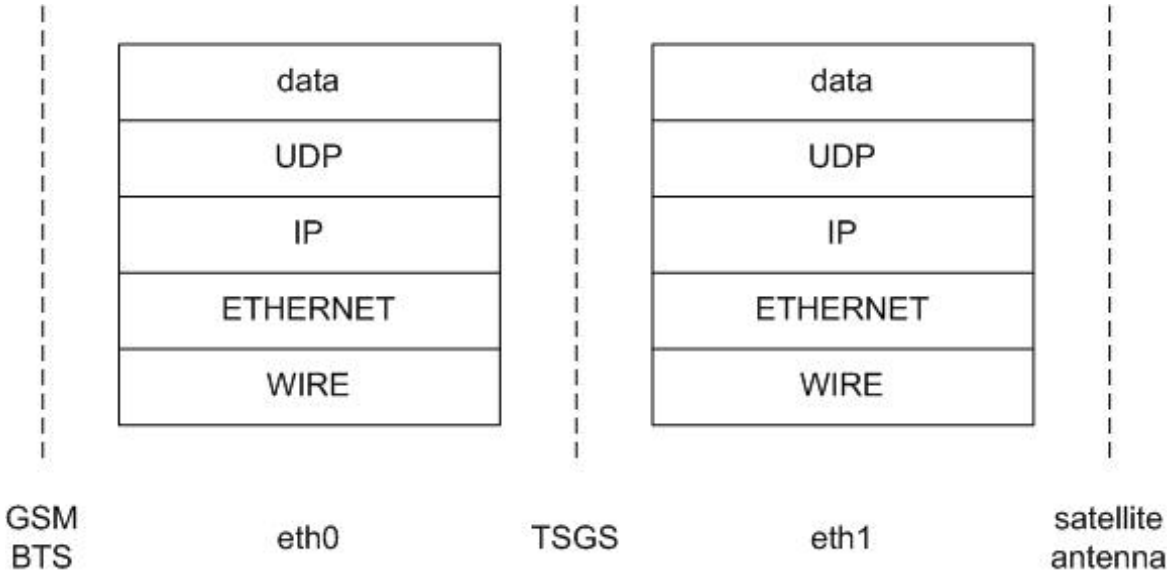

Figure 20

B. Torre de protocolos: señalización

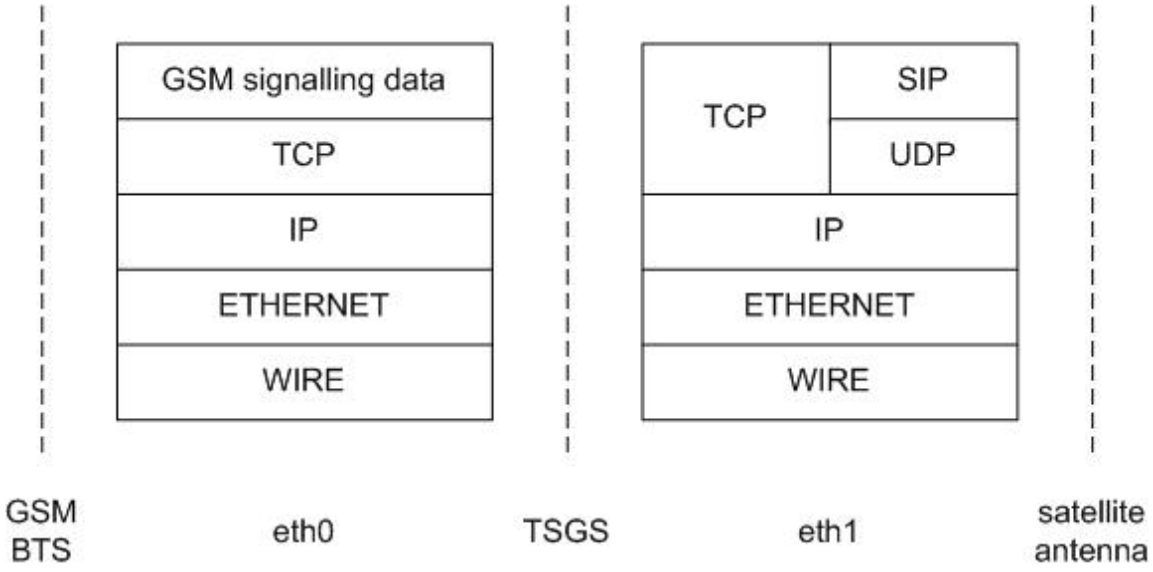

Figure 21

C. Throughput en la interfaz eth0

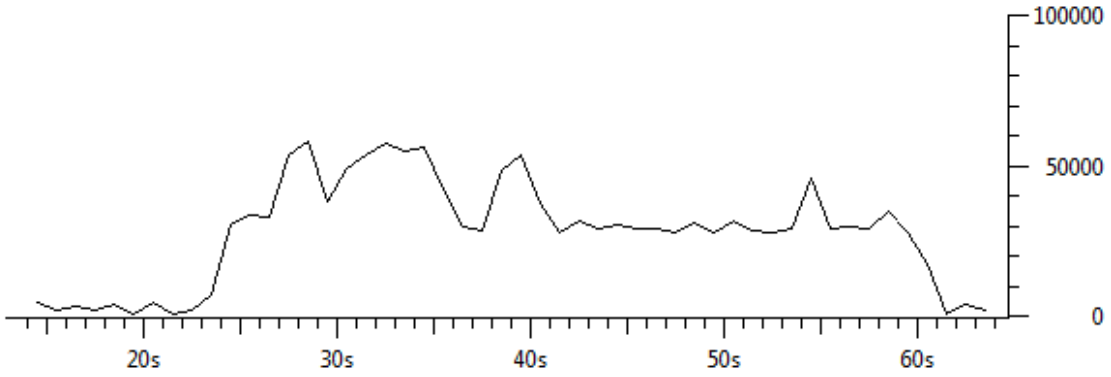

Figure 22

D. Throughput in the eth1 interface

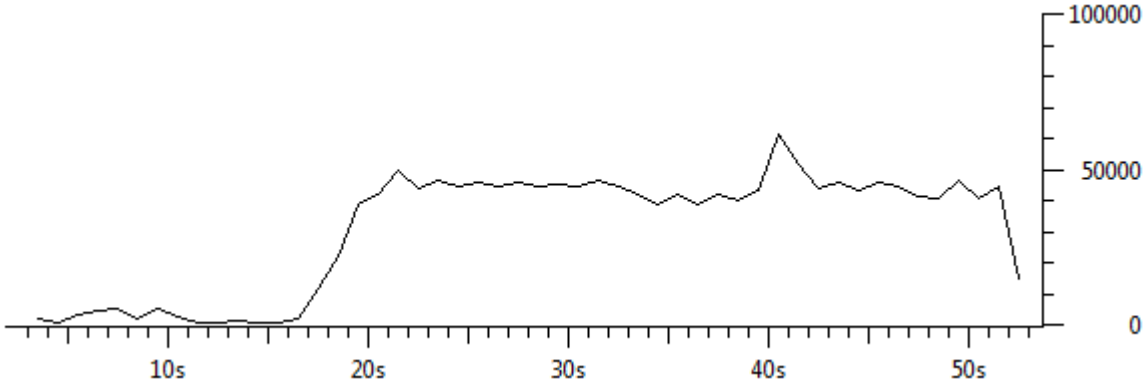

Figure 23