

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRICA Y ELECTRÓNICA



**PLANIFICACIÓN DE UN SISTEMA TRONCALIZADO DIGITAL EN
ESTÁNDAR TETRA PARA APLICACIONES DE SEGURIDAD
CIUDADANA Y COMUNICACIONES EN CASO DE EMERGENCIA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

ALESSANDRO DEFILIPPI ELIAS

**PROMOCIÓN
2008 - II**

**LIMA – PERÚ
2010**

SUMARIO

El presente proyecto de tesis desarrolla el análisis necesario para el diseño de un sistema de comunicaciones de canales múltiples de selección automática (troncalizado) digital en estándar TETRA para aplicaciones de seguridad ciudadana y comunicaciones en caso de emergencia. En el estudio se plantea contar con una red paralela pero interconectada a la red de telefonía pública (RTPC) así como a las existentes redes móviles, exclusiva para la comunicación entre los organismos de seguridad ciudadana (Policía Nacional, Policía Municipal, Serenezagos) así como para comunicaciones en casos de emergencia entre los organismos involucrados (Bomberos, Defensa Civil, FFAA, Altas Autoridades Gubernamentales, etc).

Como base del presente proyecto se toma el sismo ocurrido el día 15 de agosto de 2007 que afecto principalmente al centro-sur del país, luego de los instantes finales del sismo los sistemas actuales de telecomunicaciones y específicamente de comunicaciones telefónicas y celulares colapsaron, demostrando que la red actual no esta preparada para este tipo de acontecimientos y no se encuentra diseñada con parámetros que cumplan las condiciones descritas.

En el presente proyecto se analizan todos los sistemas y subsistemas necesarios, incluyendo los sistemas de acceso, transporte, núcleo, supervisión y administración, para implementar la red. La cobertura de la red planteada serán las provincias de Lima y Callao. En el diseño se tomarán en cuenta el número de canales, estaciones base y estaciones repetidoras necesarias para brindar un servicio de calidad acorde a la legislación peruana.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	vii
CAPÍTULO I	
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1. Planteamiento del problema.....	1
CAPÍTULO II	
SISTEMAS ACTUALES Y ASPECTOS REGULTORIOS	4
1. Descripción de los sistemas actuales.....	4
2. Organismos Supervisores e Indicadores de calidad.....	16
3. Alcances del informe de alto nivel del MTC con respecto al sismo del 15 de agosto de 2007.....	18
CAPÍTULO III	
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES TETRA	23
1. Generalidades.....	23
2. Descripción de la tecnología.....	27
CAPÍTULO IV	
PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	40
1. Parámetros Generales del Sistema.....	40
2. Sistema de Transporte.....	42
3. Plan de frecuencias.....	43
4. Topología del sistema.....	45
5. Calculo de enlaces y coberturas aproximadas.....	48
6. Perfiles de los enlaces de transporte.....	57
7. Análisis de tráfico.....	75
8. Equipamiento a utilizar.....	78
9. Servicios Agregados.....	83

CAPÍTULO V	
ANÁLISIS ECONÓMICO	86
1. Detalle del equipamiento y costos referenciales.....	86
2. Costo de los terminales.....	91
3. Gastos de Operación y Mantenimiento.....	93
4. Plan de inversión	94
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
ANEXO A	101
RÁFAGAS EN TETRA	
ANEXO B	104
SEÑALIZACIÓN E INICIO DE COMUNICACIÓN ENTRE DOS TERMINALES	
ANEXO C	107
ORGANIGRAMA PROPUESTO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA RED	
ANEXO D	109
CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	
ANEXO E	111
HOJA DE DATOS DEL EQUIPAMIENTO PROPUESTO	
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	123

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es la planificación de una red de radio troncalizado digital que brinde los servicios de comunicación por radio, telefonía y datos alterna a la red pública con un fin exclusivo de comunicaciones para aplicaciones de seguridad ciudadana y comunicaciones en caso de emergencia. El sistema a utilizar será un sistema troncalizado digital en estándar **TETRA (Terrestrial Trunked Radio)** definido por la **ETSI** en la norma **300 392-1**. En el presente trabajo se planificarán y detallarán los sub sistemas que se utilizarán; así mismo, se planificará dimensionará y detallarán los distintos componentes del sistema.

El alcance del presente proyecto de tesis comprende el planeamiento del sistema de comunicaciones TETRA tomando en cuenta el número de estaciones base, canales de comunicación, estaciones repetidoras, selección de los nodos, anchos de banda y parámetros de calidad exigidos por los organismos supervisores (MTC, OSIPTEL). Se realizará el planeamiento de los subsistemas de acceso, distribución, administración y monitoreo; así mismo se detallará la configuración del sistema y la puesta en marcha de éste. Se tomará en cuenta la infraestructura mínima necesaria para brindar un servicio óptimo en las comunicaciones. El sistema del presente trabajo estará circunscrito exclusivamente a las provincias de Lima y Callao. El resultado del presente proyecto será contar con una red de comunicaciones de seguridad ciudadana y comunicaciones en caso de emergencia, paralela a la red pública pero interconectada con ésta. Los primeros capítulos brindarán un marco teórico sobre la condición actual de las redes de comunicaciones así como una descripción de la tecnología a utilizar, los siguientes capítulos consistirán en el desarrollo del proyecto de ingeniería completo a fin de poner operativa la red planteada utilizando los conceptos de radio enlace, radio propagación y análisis de tráfico entre otros. Por último se presentará un análisis económico a fin de contar un presupuesto general del proyecto para una futura implementación de éste.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.- Planteamiento del problema

En la actualidad existen diversos operadores de telecomunicaciones que brindan servicios de comunicaciones de voz; los sistemas utilizados son principalmente servicios telefonía fija y celular, sin embargo; ninguno brinda servicios de comunicación por grupos o canales los cuales son indispensables para las aplicaciones de seguridad ciudadana. Si bien en la antigüedad se utilizaron sistemas de canales múltiples de selección automática (troncalizados) analógicos en las bandas de VHF y UHF estos presentaban severos problemas de seguridad y fidelidad.

De acuerdo al Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL) existen tres empresas que brindan servicios móviles¹ (telefonía móvil celular, troncalizado en la modalidad digital y servicio de comunicaciones personales) así como 10 empresas que brindan el servicio de telefonía fija de abonados, sin embargo; en este rubro Telefónica del Perú S.A.A (en adelante Telefónica) cuenta con 79.77% ² del mercado a nivel nacional, por lo que el resto de empresas no serán consideradas para el presente análisis.

Respecto al comportamiento de estos sistemas en condiciones anómalas tales como sismos u otros fenómenos naturales, se puede tomar como ejemplo la respuesta de las redes de comunicaciones ante el sismo producido el 15 de agosto de 2007, las cuales sufrieron gran degradación en cuanto a los parámetros de calidad especificados por la normativa peruana, los mismos que serán descritos a detalladamente mas adelante. En los momentos posteriores al sismo fue un hecho notorio que una gran cantidad de usuarios de los

¹ Indicador del Servicio de Telefonía Fija, página web de OSIPTEL (www.osiptel.gob.pe) a diciembre de 2008

² Indicador de Servicio Móvil, página web de OSIPTEL (www.osiptel.gob.pe) a diciembre de 2008

servicios de telefonía fija y móvil no pudieron comunicarse, comprobándose una degradación en el servicio.

Como ejemplo de ésta degradación en el servicio se cita, el siguiente artículo publicado en la revista Caretas, en su edición posterior al sismo:

“El verdadero drama, sin embargo, empezó cuando la onda sísmica se detuvo. El jefe de la Región Militar Centro, la más importante del país, cogió su único teléfono celular para comunicarse con su familia, pero no había línea. Volvió a su oficina, levantó los auriculares de dos teléfonos fijos, y nada. Entonces volvió la mirada al teléfono de seguridad. Cada alto mando del Ejército posee una línea telefónica alterna para comunicarse directamente con su Comando y los principales cuarteles del país en casos de emergencia. Se le conoce como “teléfono rojo” y, según fuentes castrenses, es una línea segura para evitar “chuponeos”. Guibovich esperaba contactarse con el comandante general del Ejército, Edwin Donayre, pero sorprendentemente el “teléfono rojo” tenía la línea muerta”³.

Éste artículo es solo un ejemplo que los actuales sistemas no se encuentra preparados para comunicaciones en caso de emergencias y/o desastres y así mismo se comprobó que es necesario y urgente una red alterna a la red pública para la comunicación entre las unidades de socorro y el personal encargado del manejo de desastres. Así mismo, en una entrevista reciente realizada por el diario El Comercio a la Ministra del Interior se puede apreciar el estado de los sistemas de comunicación de la Policía Nacional del Perú:

“... La policía tiene la competencia fijada por ley y los municipios cuentan con recursos. Pero lo que le falta a la policía son patrulleros, comunicación radial integrada

¿No hay una red radial que los enlaza a todos?

Solo teléfonos celulares que no están en red. ¿Qué te parece?

Insólito.

Y los radios eran de los años 80, no están operativos. Es una policía sin herramientas. El comisario no sabe qué está haciendo la gente que patrulla.”⁴

³ Extracto tomado del artículo “Que fue lo que falló” de la edición número 1990 de Caretas

⁴ Extracto de entrevista realizada a la Ministra del Interior por el diario El Comercio en su edición del 05 de Abril de 2009

Si bien los extractos mencionados anteriormente no pertenecen a publicaciones científicas o estudios técnicos, son un reflejo cualitativo de la percepción general sobre el estado de las redes de comunicaciones. En los capítulos posteriores del presente trabajo se describirán las tecnologías actuales utilizadas en las redes de comunicaciones por los operadores de Telecomunicaciones así como los parámetros de calidad utilizados por éstas.

A raíz de los hechos ocurridos con las comunicaciones en el sismo del 15 de agosto de 2007 se aprobó el Sistema de Comunicaciones en Situaciones de Emergencias⁵ por parte del Gobierno Central, dicho Sistema contempla la Red Especial de Comunicaciones en Situaciones de Emergencia, la cual en el **artículo 4º** contempla que *“Los operadores del servicio público móvil y telefonía fija reservarán en forma gratuita y permanente, una capacidad para las comunicaciones de las Autoridades, la misma que producida la emergencia será activada de forma inmediata. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones es el encargado de definir el diseño de la Red Especial de Comunicaciones en Situaciones de Emergencia, para lo cual los Operadores de los servicios públicos de telecomunicaciones se encuentran obligados a brindar todas las facilidades y la información que requiera el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para dicho fin.”*. De igual forma en el **ítem III.1 del Anexo** del Diseño de la Red Especial de Comunicaciones en Situaciones de Emergencia⁶ establece que *“Los Operadores que cuenten con al menos una Autoridad conectada a su red reservarán en forma gratuita y permanente una capacidad para las comunicaciones en Situaciones de Emergencia”*. De estos dos artículos se desprende que el Sistema creado se basa en la reserva de capacidad en las actuales redes de los operadores de telecomunicaciones y no especifica la creación de una red exclusiva para comunicaciones en caso de emergencia.

Por las consideraciones expuestas anteriormente queda demostrado que es prioritario y urgente la creación de una red exclusiva para seguridad ciudadana y comunicaciones en caso de emergencia que cumpla con los parámetro de calidad exigidos por los organismos de control peruanos. El diseño de ésta red es el trabajo central del presente proyecto.

⁵ Aprobado mediante Decreto Supremo N° 030-2007-MTC con fecha 30 de agosto de 2007

⁶ Aprobado mediante Decreto Supremo N° 043-2007-MTC con fecha 30 de diciembre de 2007

CAPÍTULO II

SISTEMAS ACTUALES Y ASPECTOS REGULATORIOS

1.- Descripción de los sistemas actuales

Los sistemas de telecomunicaciones para comunicación de usuarios utilizados actualmente los podemos dividir en dos:

- i. Sistemas diseñados para brindar servicios móviles
- ii. Sistemas diseñados para brindar servicios de telefonía fija de abonados.

Para brindar el servicio de comunicaciones móviles se pueden utilizar distintos sistemas como telefonía móvil celular, sistema móvil de canales múltiples de selección automática (troncalizado) y servicio de comunicaciones personales. Cada uno de estos servicios tiene asociada una tecnología que le permite brindar los servicios mencionados, a continuación se detallarán éstas tecnologías por servicio y por operador de servicios móviles, el presente trabajo no ahondará en los sistemas diseñados para brindar servicios de telefonía fija de abonados, ya que no se encuentra dentro del alcance planteado.

i. Sistemas diseñados para brindar servicios móviles

a. Telefónica Móviles S.A

Telefónica Móviles cuenta con cobertura a nivel nacional. Actualmente cuenta con una red mixta que integra las tecnologías IS-95, CDMA-1X y GSM. Además del servicio de telefonía móvil brinda los servicios de mensajes de texto (SMS), mensajes multimedia (MMS), Internet móvil WAP, transmisión de datos, así como servicios de valor añadido. Los sistemas utilizados se describen a continuación.

CDMA IS-95

En el año 1992, la Telecommunication Industry Association (TIA) de Estados Unidos de Norteamérica organizó el subcomité TR 45.5 para la definición de un estándar de telefonía celular digital por espectro expandido y en julio de 1993, se aprobó el estándar **IS-95 (Interim Standard 95)**.

CDMA (Code Division Multiple Access) es una técnica de acceso múltiple inalámbrica basada en la dispersión espectral, en este método la información de la comunicación del

usuario es dispersada espectralmente en un canal de mayor ancho de banda. CDMA proponía la técnica de espectro ensanchado, a través de la cual la energía asociada al canal de voz se dispersa sobre un canal de ancho de banda muy superior al de la información. El estándar IS-95 utiliza un ancho de banda de 1.25 MHz por portadora. El primer sistema comercial basado en CDMA IS-95 se inauguró en Hong Kong con el operador Hutchison Telecom en el año 1995. A diferencia de otros sistemas – donde la capacidad queda rígidamente definida por la cantidad de canales o ranuras disponibles – en CDMA todos los usuarios comparten la misma banda, pero cada comunicación es identificada a través de un código permitiendo una asignación mucho más dinámica de los recursos. La capacidad del sistema, depende del nivel de ruido y las interferencias presentes en el canal. Precisamente, para obtener el máximo de capacidad, CDMA se caracteriza por mantener las comunicaciones en el mínimo nivel de energía, empleando un sofisticado control de potencia.

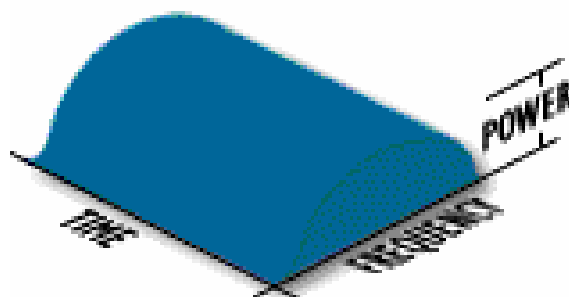


Figura 1: Distribución Tiempo vs Espacio de una portadora CDMA

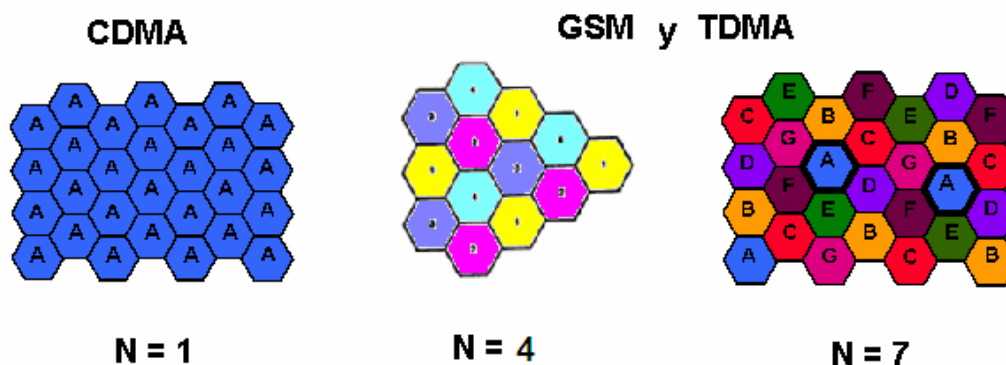


Figura 2 - Patrón de Rehuso de Frecuencias

En el proceso de dispersión se utiliza una llave de código que es único en ver y que es percibido como ruido por cualquier receptor que no conozca la clave. Los códigos utilizados pueden ser ortogonales (Códigos Walsh) o Códigos PN (“Pseudo-noise”).

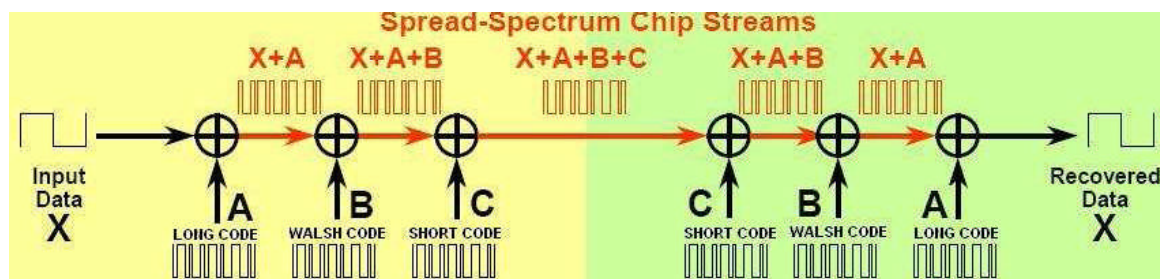


Figura 3 - Uso de Códigos en CDMA

En el sentido directo, las señales de radio se transmiten por las estaciones base. Cada una de ellas están sincronizadas por un receptor GPS, de tal manera que las transmisiones son controladas con mucha precisión. Todas las transmisiones del enlace directo son QPSK. En el sentido inverso, las señales de radio son transmitidas por el móvil. Las transmisiones del móvil son OQPSK a efectos de operar en un rango óptimo del amplificador de potencia del móvil.

La revisión IS-95 B⁷ es una solución de datos introducida en el mercado para atender la creciente demanda por mayor tasa de datos. En esta versión el sistema es capaz de ofrecer 64 Kbps de velocidad de datos conmutada por paquete además de los servicios de voz. Por este motivo, dentro de la clasificación de tecnologías inalámbricas, se suele incluir a IS 95 B como una tecnología de 2.5G. Ésta revisión es la utilizada por la empresa.

⁷ La Revisión IS-95B, combina los estándares TIA/EIA-95, ANSI-J-STD-008 y TSB-74

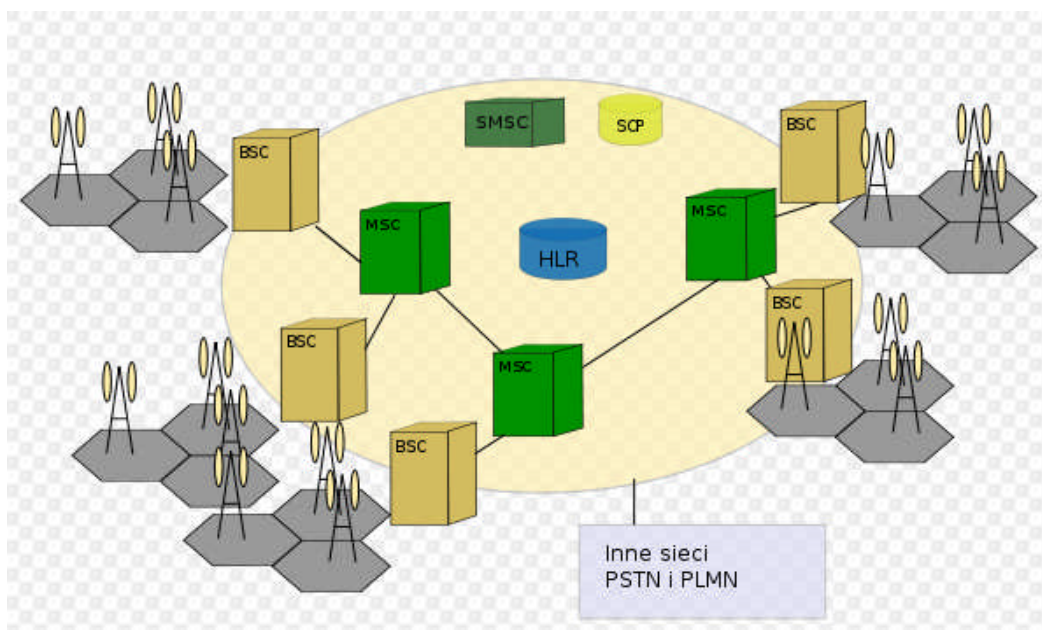


Figura 4 - Arquitectura de una Red IS-95

CDMA 2000-1X

La tecnología CDMA2000 1X (**IS-2000**) fue reconocida como un estándar IMT-2000⁸ por la International Telecommunications Union (UIT) en Noviembre de 1999, y se constituyó en la primera tecnología IMT-2000 en ser implementada en Octubre 2000. CDMA2000 1xRTT es la base del estándar CDMA2000. Existen varios otros acrónimos para designar esta tecnología: **1x**, **1xRTT** o **IS-2000**. El nombre “1xRTT” (que significa 1 vez Radio Transmission Technology).

Al igual que la tecnología precedente (IS-95) CDMA-1X utiliza canales de radio con un ancho de banda de **1.25MHz**. CDMA 2000-1X se basa en los principios de la tecnología IS-95 e igualmente utiliza asignación de códigos sobre una misma portadora.

Las mayores diferencias entre los estándares IS-95 e IS-2000 son:

IS-2000 incluye protocolos de control de acceso de enlace así como control de calidad de servicios (QoS) que no existían en IS-95. Otra diferencia es que IS-2000 utiliza Acceso Múltiple por espectro disperso en Secuencia Directa (Direct Sequence Spread Spectrum Multiple Access): mejora la eficiencia espectral del sistema, ofreciendo mayor capacidad de igual forma posee la capacidad de transmitir una alta velocidad de datos, la primer versión de CDMA2000 1X permite transmitir datos a una velocidad pico de **153 kbps** de

⁸ IMT-2000 es una iniciativa de la UIT para el desarrollo de la Tercera Generación de sistemas y servicios inalámbricos con el apoyo de operadores y fabricantes.

manera bidireccional, con una tasa promedio de 80 kbps en redes comerciales. La versión A permite el manejo de datos de hasta **307 kbps**.

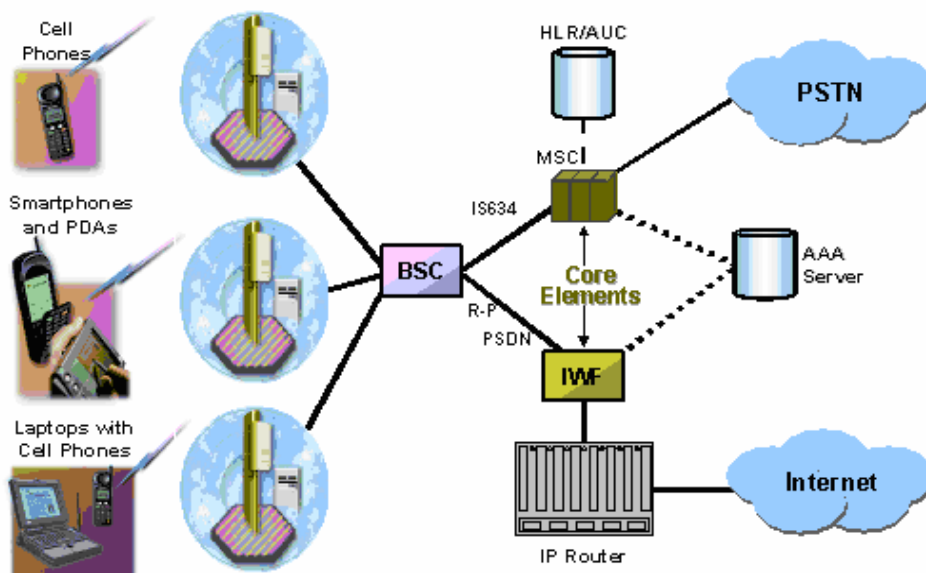


Figura 5 - Arquitectura de una red CDMA2000-1X

GSM

GSM es un estándar desarrollado inicialmente por una iniciativa de las autoridades europeas con el fin de tener un sistema único que facilitara la integración de las comunicaciones móviles en toda la Comunidad Europea. En éste sentido se creó Grupo Especial Móvil (Group Special Mobile – GSM). El órgano responsable de establecer las bases para este proyecto fue la CCITT⁹ mientras que la ETSI¹⁰ fue la responsable de la estandarización de la tecnología. Al cabo de unos años el estándar fue rebautizado como Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System for Mobile Communications – GSM)

GSM utiliza **124 frecuencias** portadoras de **200 KHz** a lo largo de los 25 MHz asignados para el servicio (FDMA). Luego, cada canal de **200 KHz** se divide en **8** ranuras de tiempo (time slots) empleando los principios de TDMA. Posteriormente se incluyó la funcionalidad de salto de frecuencia (frequency hopping) para reducir la interferencia y

⁹ CCITT son las siglas de Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico, antiguo nombre del comité de normalización de las telecomunicaciones dentro de la UIT, hoy conocido como UIT-T

¹⁰ El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial.

mejorar la capacidad general del sistema. La separación entre los canales de transmisión y de recepción es de **80KHz**. La modulación utilizada en el proceso de transmisión es GMSK (Gaussian Minimun Shift Keying).

GSM utiliza un patrón de reuso de los canales asignados, con el propósito de evitar interferencias que degradan la calidad de la transmisión. Durante la transición entre una celda A y otra celda B, el sistema debe reasignarle al terminal una nueva banda de 200KHz y una nueva ranura de tiempo. En el estándar original soportaba transmisiones de datos de **9.6Kbps**

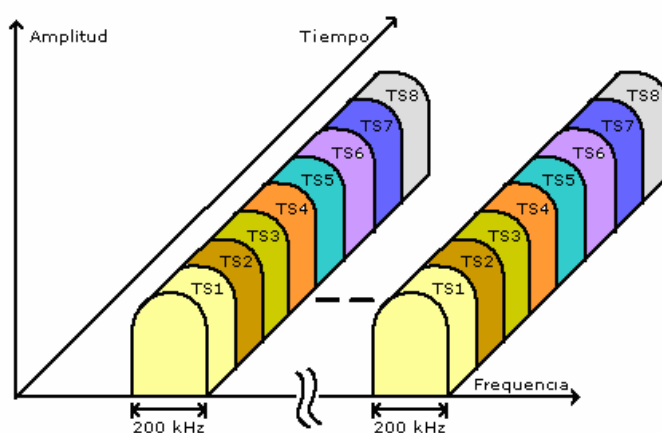


Figura 6 - Estructura básica de un canal GSM

Una característica distintiva de los teléfonos GSM fue la introducción de las tarjetas SIM (del inglés, Subscriber Identity Module) o Módulo de Identificación del Suscriptor, que permitió facilitar el proceso de adaptación del terminal a la red y preservar la información y datos del cliente.

GPRS es una evolución de GSM para transmisión de datos (transmisión de paquetes). GPRS son las siglas en inglés de Servicio General de Paquetes Vía Radio. GPRS da mejor rendimiento a la conmutación de paquetes de servicios, en contraposición a la conmutación de circuitos, donde una cierta calidad de servicio (QoS) está garantizada durante la conexión. Por este motivo, se considera más adecuada la conexión conmutada para servicios como la voz que requieren un ancho de banda constante durante la transmisión, mientras que los servicios de paquetes como GPRS se orientan al tráfico de datos. Con GPRS se pueden lograr velocidad de transmisión de datos teórica de hasta 170Kbps a diferencia de los 9.6Kbps que se podían lograr con el estándar GSM original.

Dentro de una breve descripción de los subsistemas que posee GSM podríamos identificar los siguientes: la **Estación Móvil** (“Mobile Station” ó **MS**) que representa normalmente la única parte del sistema completo que el usuario ve, la MS además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesado de señales y de radio frecuencia, debe ofrecer también una interfaz al usuario humano (un micrófono, altavoz, display y tarjeta, para la gestión de las llamadas de voz), y/o una interfaz para otro tipo de equipos (ordenador personal, o máquina facsímil o fax).

El **subsistema de la estación base** (“Base Station Subsystem” ó **BSS**). El BSS está en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio (Um), se encargar de todas las funciones de la transmisión y recepción de radio, y de su gestión. La misión del BSS se podría decir que es conectar al usuario del móvil con otros usuarios, algunos de los elementos que conforman este subsistema tenemos las estaciones base (**BTS**) y las controladoras de estaciones base (**BSC**)

El **Subsistema de Red** (“Network Switching Subsystem” ó **NSS**) que es el responsable de gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a otro tipo de redes (como a la PSTN), o a otras estaciones móviles.

Además tendríamos el **Centro de Operaciones y Mantenimiento** (“Operation and Service Subsystem” u **OSS**). La MS, BSS y la NSS forman la parte operacional del sistema, mientras que el OSS proporciona los medios para que el operador los controle.

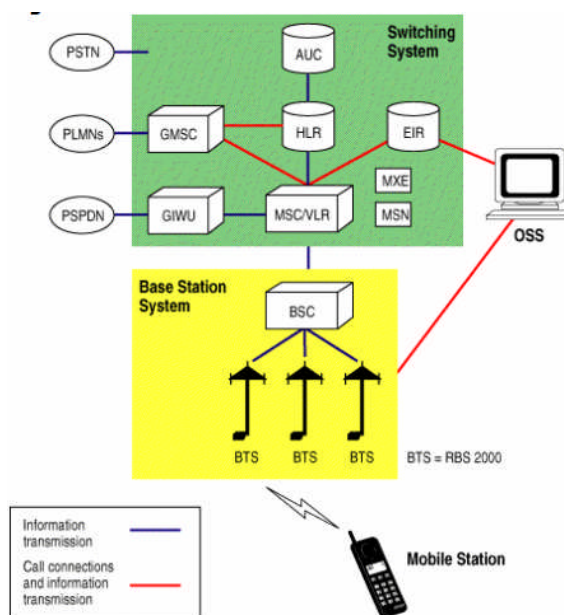


Figura 7 - Arquitectura de una Red GSM

b. América Móvil

América Móviles mediante su marca Claro posee una representativa participación en el mercado, la tecnología utilizada es GSM/UMTS, brinda de igual forma además del servicio de móviles, los servicios de SMS, MMS, banda ancha, etc. A continuación se describen las tecnologías utilizadas (La tecnología GSM fue descrita anteriormente, por lo que no se redundará)

UMTS

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications Systems – UMTS) es un sistema de tercera generación de comunicaciones móviles. Las especificaciones de UMTS han sido desarrolladas por la 3GPP¹¹, desarrollando distintas versiones (releases) a lo largo del tiempo. La primera versión de éste estándar fue ratificada en el año 1999, ésta es la llamada Versión 99.

La primera versión entonces es UMTS Release 99, las versiones consecutivas son Versión 4, Versión 5, etc. UMTS es la evolución de los sistemas GSM y GPRS. Ésta tecnología combina las propiedades de la conmutación de circuitos de las redes de voz con las propiedades de la conmutación de paquetes de las redes de datos ofreciendo capacidad para nuevos servicios. Si bien los sistemas UMTS a nivel de núcleo han sido desarrollados a partir de los sistemas GSM, a nivel de acceso éste sistema utiliza una nueva tecnología llamada **Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha** (Wideband Code Division Multiple Access – **WCDMA**).

WCDMA ya no utiliza métodos basados en la multiplexión de tiempo o de frecuencia y los usuarios que ya no son separados entre ellos por ranuras de tiempo sino comparten una única portadora de gran ancho de banda y se utilizan asignación de códigos para diferenciar a los usuarios (parecido al proceso que utilizan los sistemas CDMA). El ancho de banda de la portadora utilizada es de **5Mhz**. UMTS permite velocidad de transferencia de datos de hasta **384Kbps** por usuario en downlink (de red a usuario) y velocidades de hasta **128Kbps** en uplink (de usuario a red).

En cuanto a la arquitectura de una red UMTS tenemos el subsistema de **Red de Acceso Terrestre de Radio UMTS** (UMTS Terrestrial Radio Access Network – **UTRAN**), el concepto de las estaciones base y las estaciones controladoras ha sido adoptado de GSM, sin embargo; mientras que en GSM se denomina BTS y BSC respectivamente la

¹¹ 3GPP: 3rd Generation Partnership Project es un acuerdo de colaboración en tecnología de telefonía móvil, que fue establecido en diciembre de 1998.

nomenclatura correspondiente en la UTRAN son llamados **Nodos-B** y **Controladoras de la Red de Radios** (Radio Network Controles – **RNC**). De igual forma lo que en GSM se conocía como Estación Móvil (**MS**) en UMTS se le conoce **Equipo de Usuario** (User Equipment – **UE**)

También se tiene el subsistema **Núcleo de la Red** (Core Network – **CN**) que es el encargado de realizar todas las funciones de conmutación y control de llamadas, así como manejo de usuarios entre otras funciones.

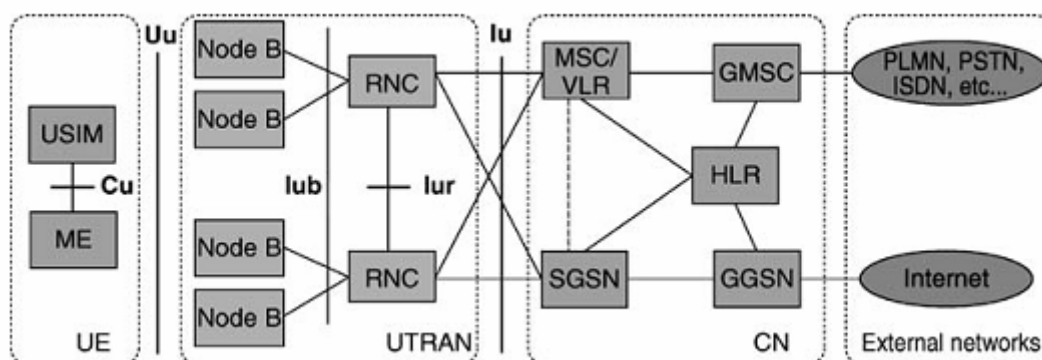


Figura 8 - Arquitectura de una red UMTS

Como evolución de ésta tecnología tenemos UMTS Versión 5: High Speed Downlink Packet Access (**HSDPA**) en el cuál se mejora la capacidad de la red en cuanto a tasas de transferencia de datos por usuario y por celda. HSDPA permite velocidad de descarga de hasta **3.6Mbps**, lo cual permite competir con otras tecnologías de acceso a Internet como DSL¹². HSDPA para lograr estas velocidades de transmisión de datos utiliza modulación QPSK o 16QAM.

En la versión 6 de UMTS: High Speed Uplink Packet Access (**HSUPA**) se logran mayores velocidades en el enlace ascendente (uplink), alcanzando velocidades teóricas de hasta **5.8Mbps**. Este desarrollo se da producto de la creciente demanda de aplicaciones multimedia como video llamadas, videoconferencias entre otras que requieren mayor capacidad.

¹² DSL: Digital Subscriber Line, tecnología de acceso a Internet que permite velocidades superiores a 1Mbps

GSM	IS-95A (CdmaOne)
GSM with (E-)GPRS	IS-95B / CDMA2000 1xRTT
UMTS	CDMA2000 1xRTT
UMTS – HSDPA	CDMA2000 1xEV-DO revision 0
UMTS – HSDPA and HSUPA	CDMA2000 1xEV-DO revision A
UMTS – HSDPA	CDMA2000 1xEV-DV revision C
UMTS – HSDPA and HSUPA	CDMA2000 1xEV-DV revision D

Tabla 1 - Comparación entre la evolución de GSM e IS-95

c. Nextel del Perú S.A

Nextel del Perú utiliza un sistema de canales múltiples de selección automática de canales (troncalizado) digital de tecnología iDEN. Brinda los servicios de interconexión telefónica (comunicaciones móviles full duplex) así como servicios de distpach (servicio de radio en modo semiduplex), también brinda servicios de SMS, MMS, transmisión de datos, localización GPS, entre otros. A continuación se da una breve descripción de la tecnología

iDEN

iDEN son las siglas de Red Mejorada Digital Integrada (Integrated Digital Enhanced Network), es una tecnología propietaria de la empresa Motorola la cual proporciona a los usuarios múltiples servicios en un único sistema de comunicaciones móviles. iDEN nace debido al gran crecimiento que se tuvo en las comunicaciones inalámbricas, debido a este crecimiento se volvió necesario optimizar los recursos espectrales de radio frecuencia. Como medida de optimización del espectro iDEN, a diferencia de las tecnologías descritas anteriormente, utiliza dos tipos de comunicación: **Semiduplex**, en donde se utiliza un solo canal de comunicaciones, es decir un usuario transmite y los otros reciben, éste tipo de comunicación es conocida también como comunicación de **radio** o **dispatch**. El otro tipo de comunicación es **Full Duplex**, que es un enlace bi-direccional que permite comunicación en dos vías, a éste tipo también se le llama comunicación de **telefonía** o **interconnect**.

Al utilizar comunicaciones en semiduplex iDEN permite optimizar los recursos de la red teniendo la funcionalidad de full-duplex para cuando sea requerida. El sistema iDEN es una integración de las tecnologías analógicas tradicionales, PTT (Push-To-Talk), semiduplex con las nuevas tecnologías celulares. Esta integración de comunicaciones

móviles permite brindar funciones modernas mientras que se optimizan los recursos de la red.

Ésta tecnología utiliza TDMA para dividir los canales de radio en ranuras de tiempo (time slots) permitiendo a múltiples usuarios compartir un mismo canal. Cada canal tiene un ancho de banda de **25Khz** y cada canal puede ser dividido hasta en 6 time slots, cada time slot es de 15ms, un determinado número de time slot por trama es dedicado al control de la selección automática de canales. El sistema dúplex utilizado es basado en tiempo (sistema TDD), el cambio de time slot para transmisión y recepción se realiza de forma imperceptible para el usuario lo cual permite comunicaciones en full dúplex. En cuanto a la tasa de bits usada en cada canal se puede llegar hasta 64Kbps y la modulación utilizada es M16-QAM.

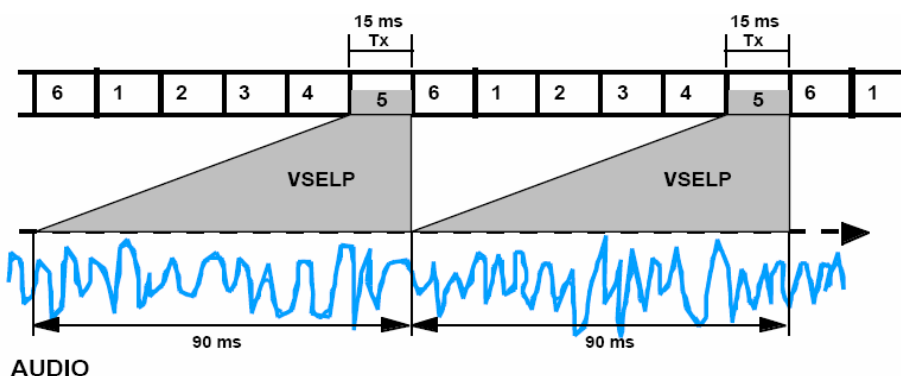


Figura 9 - Trama en un canal iDEN

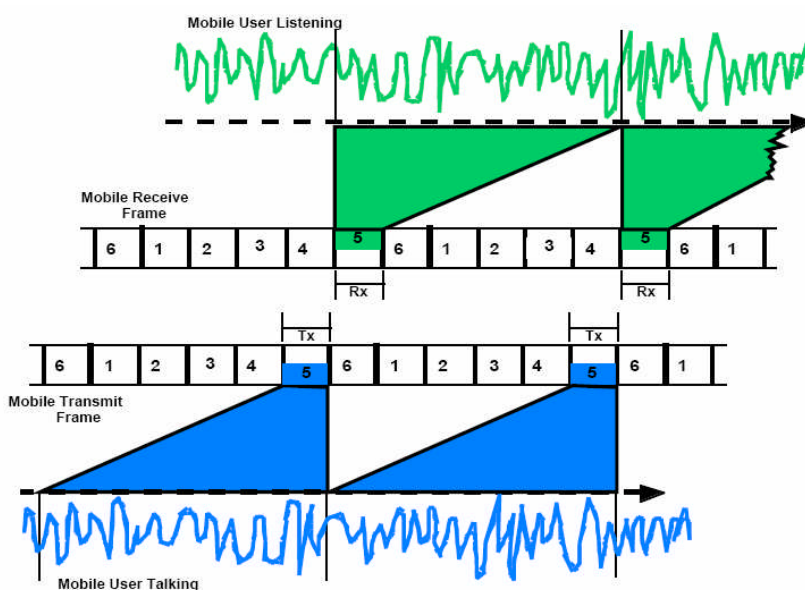


Figura 10 - Operación de un sistema TDD

De la arquitectura de red que utiliza ésta tecnología tenemos los siguientes elementos:

La **estación móvil (MS)** o también conocida como **Unidad Subscriptora** (Subscriber Unit – **SU**) que es equipo con el que cuenta el usuario a fin de comunicarse con otros usuarios.

También se cuenta con la **Estación Base Mejorada** (Enhanced Base Transceiver Station – **EBTS**) que es la encargada de la codificación, control de tiempos, control de errores de la tramas, así mismo se encarga de realizar las mediciones de la calidad del enlace, separar el tráfico entre comunicaciones de dispatch y comunicaciones de interconnect, entre otras funciones. La Controladora de Estaciones Base (BSC) cumple las mismas funciones que las BSC de GSM o las RNC de UMTS.

A nivel de núcleo iDEN define la **Oficina de Conmutación Móvil** (Mobile Switching Office – **MSO**) que en donde se encuentran los distintos elementos de interconexión y control de la red. Dentro del MSO se encuentran el HLR, VLR, OMC, la MSC. A diferencia de otras tecnologías en el core también se encuentra el **Procesador de Aplicaciones de Dispatch** (Dispatch Application Processor – **DAP**) que es el encargado de las funciones de control, señalización y monitoreo de las comunicaciones de dispatch.

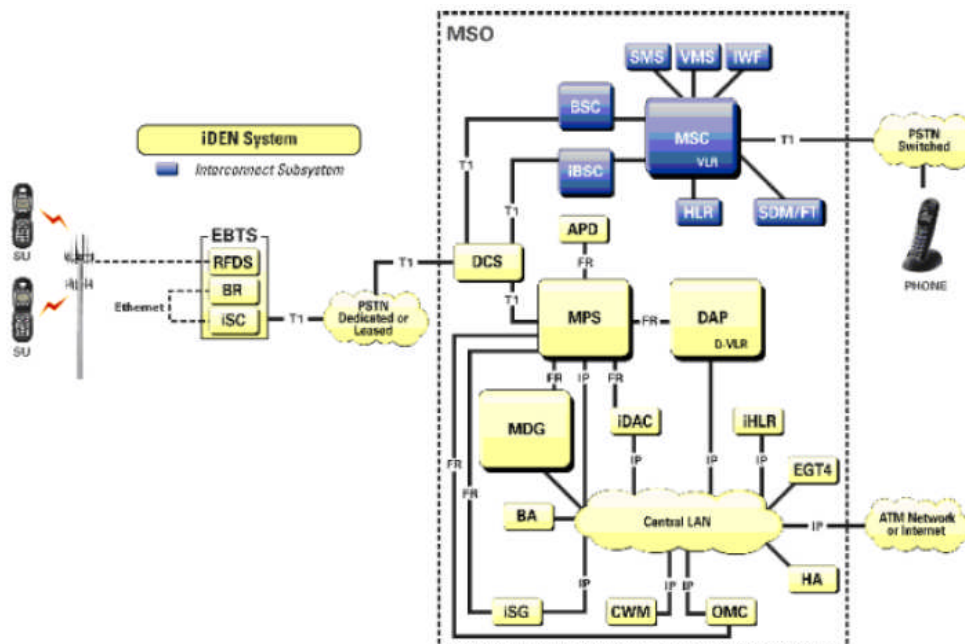


Figura 11 - Arquitectura de una red iDEN

2.- Organismos Supervisores e Indicadores de Calidad

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) es el órgano encargado de regular, promover, ejecutar y supervisar la infraestructura en transportes y comunicaciones¹³, así mismo, dentro de las funciones del MTC se encuentran las de fiscalizar y supervisar el cumplimiento del marco normativo relacionado con el sector, otorgar y reconocer derechos a través de autorizaciones, permisos, licencias y concesiones, planificar, promover y administrar la provisión y prestación de servicios públicos¹⁴. Específicamente la Dirección General de Control y Supervisión de Comunicaciones es el órgano de línea de ámbito nacional del subsector Comunicaciones encargado de controlar y supervisar la prestación de los servicios y actividades de comunicaciones y ejercer la potestad sancionadora, en el ámbito de competencia del Ministerio así como velar del uso correcto del espectro radioeléctrico¹⁵.

El Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL)¹⁶ tiene por objetivo general, regular, normar, supervisar y fiscalizar, dentro del ámbito de su competencia, el desenvolvimiento del mercado de servicios públicos de telecomunicaciones y el comportamiento de las empresas operadoras, las relaciones de dichas empresas entre sí, y las de éstas con los usuarios; garantizando la calidad y eficiencia del servicio brindado al usuario, regulando el equilibrio de las tarifas y facilitando al mercado una explotación y uso eficiente de los servicios públicos de telecomunicaciones¹⁷.

Así mismo mediante Resolución de Consejo Directivo N° **040-2005-CD/OSIPTEL** se aprobó el Reglamento de Calidad de los Servicios Públicos de Telecomunicaciones el cual en su Artículo 2° establece que los indicadores de calidad (Ics) de los servicios públicos de telecomunicaciones son:

¹³ Artículo 32° de la Ley N° 27779 “Ley Orgánica que Modifica la Organización y Funciones de los Ministerios”, aprobada el 10 de julio de 2002

¹⁴ Artículo 4° de la Ley N° 27791 “Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones”, aprobada el 24 de julio de 2002

¹⁵ Artículo 86° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprobado mediante DS N° 021-2007-MTC con fecha 06 de julio de 2007

¹⁶ Mediante DL N° 702 se crea el Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones

¹⁷ Artículo N° 18 del DS 008-2001-PCM “Reglamento General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones

- i. **Tasa de Incidencia de Fallas (TIF):** Es el porcentaje del número de averías reportadas por los abonados o usuarios de determinado servicio, tales como servicio cortado o degradado, durante el período de un mes calendario, por cada cien (100) líneas en servicio o abonados, que sean atribuibles a la red de responsabilidad de la empresa prestadora del servicio.
- ii. **Tasa de Reparaciones (TR):** En el caso exclusivo de teléfonos públicos (TUP's) se aplica el indicador Tasa de Reparaciones definido como el porcentaje promedio mensual mínimo aceptable, de fallas de TUP's reparadas en menos de 24 horas, del total de fallas reportadas o detectadas en el mes, considerando todos los días (laborables o no).
- iii. **Respuesta de Operadora (RO):** Porcentaje mensual de llamadas respondidas dentro de X segundos desde que se recibe el retorno de llamadas, más las llamadas abandonadas antes de dicho tiempo X, respecto al total de llamadas intentadas a ese servicio. En el caso de contar con un sistema de respuesta automática, los X segundos se contarán a partir del momento en que el abonado o usuario manifiesta su intención de transferir a un operador humano

Adicionalmente para el caso del servicio de telefonía fija se define en el Artículo 4°

- iv. **Tasa de Llamadas Completadas (LLC):** Es el porcentaje de llamadas completadas originadas en la red en evaluación, por el total de tentativas de llamadas originadas en la misma red, medidas durante la hora de mayor carga en un mes calendario.

Para el caso de los servicios móviles se definen, en el Artículo 5°:

- v. **Tasa de Intentos No Establecidos (TINE):** Definido como la relación, en porcentaje, de la cantidad de Intentos No Establecidos sobre el Total de Intentos.
- vi. **Tasa de Llamadas Interrumpidas (TLLI):** Definido como la relación, en porcentaje, de la cantidad total de Llamadas Interrumpidas sobre el total de llamadas Establecidas.

Los valores referenciales para los Indicadores de Calidad¹⁸ mencionados se presentan a continuación

¹⁸ Valores Referenciales establecidos por OSIPTEL

- **Tasa de Incidencia de Falla (TIF):**

Servicio	Valor Referencial
Telefonía Fija	1.60%

- **Respuesta de Operadora (RO)**

Servicio	Valor Referencial	Tiempo X
Telefonía Fija	90%	10s
Móviles	90%	20s

- **Tasa de Llamadas Completadas (LLC)**

	Valor Referencial
Tasa de llamadas completadas	90%
ASR ¹⁹	70%

- **Tasa de Intentos No Establecidos (TINE)**

TINE	3.00%
------	-------

- **Tasa de Llamadas Interrumpidas (TLLI)**

TLLI	2.00%
------	-------

3.- Alcances del informe de alto nivel del MTC con respecto al sismo del 15 de agosto de 2007

El día 15 de agosto de 2007 a las 18:00 horas aproximadamente se produjo un sismo de gran intensidad que afectó principalmente a la zona centro-sur del país. El sismo afectó gravemente los servicios de telecomunicaciones especialmente los servicios de telefonía fija y servicios móviles. El Ministerio de Transportes y Comunicación a través de la Dirección General de Control y Supervisión de Comunicaciones fue el encargado de realizar una auditoria a las redes de las principales empresas operadores de los servicios fijos y móviles con el objetivo de determinar si éstas redes poseen la infraestructura necesaria para prestar el servicio y atender la demanda de forma eficiente²⁰.

¹⁹ASR: Answer Seizure Ratio, IC utilizado para sistemas inteligentes interactivos (IVR)

²⁰ Auditoria encargada mediante Resolución Viceministerial N° 483-2007-MTC/03

Los resultados de las auditorias realizadas se muestran a continuación²¹

i. Nextel del Perú S.A

La auditoria para el caso de esta empresa tomo en cuenta los siguientes parámetros:

a. Capacidad de operación de las centrales de conmutación

De acuerdo a la inspección realizada se tiene que en condiciones normales la capacidad máxima de uso del CPU MSC para el servicio de interconexión telefónica estaba alrededor del **70%**²² y siendo ésta la única central de conmutación existía un riesgo potencial en el funcionamiento del procesador ante cualquier sobrecarga, lo cual degradaría el servicio celular y la calidad de éste.

b. Capacidad del sistema de gestión de tráfico

Respecto a éste punto el informe concluye que el sistema de gestión que permite monitorear las alarmas tanto en la red de acceso como en la de transporte. Así mismo concluye que el sistema de transporte se encuentra bien dimensionado.

c. Sistemas de respaldo y sistemas de energía alterna

De acuerdo a la inspección y a la información brindada por la empresa se concluye que el respaldo con el que cuenta la red es **aceptable**

d. Nivel de Operatividad de las celdas

En este punto se concluyó que la red en términos de acceso posee un valor referencial de **84.7 usuarios por canal** y ésta podría ser una de las causas que afecto la calidad del servicio. Así mismo se encontró que posee un **TINE mayor al 3%** para el servicio de Conexión Directa (servicio de comunicación por radio en modo semiduplex) de igual forma para este mismo servicio se tiene un **TLLI mayor al 2%**.

e. Niveles de Inversión en Infraestructura

Al año 2006 se tiene una inversión promedio de **1320** soles por usuario y en el año 2007 se tiene **925** soles por usuario.

f. Interconexión con otros operadores

La inspección concluye que la red posee poco margen en sus rutas de interconexión lo que podría incidir en la calidad de servicio en caso de tener un aumento en el volumen de tráfico.

²¹ Resultados tomados del Informe N° 009-2007-MTC/29

²² De acuerdo el informe N° 009-2007-MTC/2009 indica que 70% es el valor máximo recomendado por la UIT

ii. Telefónica Móviles

a. Capacidad de operación de las centrales de conmutación

En cuanto este punto se tiene que Telefónica Móviles cuenta con 4 centrales de conmutación (MSS) y 6 Media Gateways (MGW) y algunas de éstas poseen una tasa de ocupación mayor al **70%**. Así mismo se tiene la empresa posee un TINE mayor al 3%.

b. Capacidad del sistema de gestión de tráfico y el dimensionamiento de las redes de telecomunicaciones

Para este punto se tiene que la empresa cuenta con un sistema de supervisión que permite detectar un incremento en los intentos de llamada, así mismo cuenta con un Centro de Gestión Alterno. En cuanto al dimensionamiento de la red la inspección concluye que ha tenido un crecimiento de usuarios de **46%** pero no ha desplegado la su red con oportunidad para atender esa demanda.

c. Sistemas de respaldo y sistemas de energía alterna

Los sistemas de respaldo de la empresa se basan en dar redundancia a los procesadores de las centrales y a las tarjetas del backbone IP, cuenta también con rutas diferenciadas de cada MGW al backbone.

En cuanto al sistema de transporte la empresa cuenta con distintas tecnologías (Fibra óptica, sistema de microondas y enlace satelital) a fin de brindar confiabilidad a la red. En lo que respecta al respaldo de energía se comprobó que la empresa cuenta suministro de energía de respaldo en las centrales así como grupos electrógenos permanente en algunas BTS así como grupos electrógenos móviles.

d. Nivel de Operatividad de las celdas

La empresa cuenta con un valor referencial de **53.9** usuarios por canal, lo cual es un valor alto para la industria y podría tener efecto en la calidad del servicio. Para el dimensionamiento de las BTS la empresa ha utilizado una tasa de información “half rate” lo que implica reducir la calidad de la voz para duplicar el número de canales y aumentar el número de usuarios, práctica que solo debe ser usada en situaciones de emergencia.

e. Crecimiento de líneas y la inversión en infraestructura

Al año 2006 se tiene una inversión promedio de **215** soles por usuario nuevo y en el año 2007 se tiene **108** soles por usuario nuevo

f. Interconexión con otros operadores

La inspección concluye que la red posee poco margen en sus rutas de interconexión lo que podría incidir en la calidad de servicio en caso de tener un aumento en el volumen de tráfico.

iii. América Móvil

a. Capacidad de operación de las centrales de conmutación

Al realizar una comparación entre el porcentaje de procesamiento de las centrales se tiene que paso de **26%** antes del sismo a **98%** en los instantes posteriores a éste, sin embargo; de la información histórica con la que se cuenta que existen fechas en la cuales los procesadores trabajan entre 100% y 200% mas que en días normales sin afectar las comunicaciones por lo que éste comportamiento se encuentra dentro de lo normal.

b. Capacidad del sistema de gestión de tráfico y el dimensionamiento de las redes de telecomunicaciones

La empresa cuenta con un centro de gestión de red que es capaz de localizar los problemas con congestión de tráfico, cuenta también con un centro de gestión alternativo con las mismas capacidades que el principal. Por lo que se concluye que en los temas de Gestión y Supervisión de Red la empresa no presenta problemas.

c. Sistemas de respaldo y sistemas de energía alterna

De la inspección realizada se tiene que la empresa cuenta con un sistema de compartición de carga entre sus centrales de N+1, por lo que se tiene sobredimensionado el hardware instalado. En cuanto al tema de energía se cuenta con sistemas de respaldo que constan de grupos electrógenos, rectificadores y baterías capaces de soportar el 100% de la carga. Para el caso de las BTS se cuenta con sistema de respaldo de energía con una autonomía de 4 horas para lima y 6 horas en provincia.

d. Nivel de Operatividad de las celdas

En la inspección se observó que la empresa cuenta con un valor referencial de **32.7** usuarios por canal. Nivel aceptable y dentro de lo utilizado en la industria.

e. Crecimiento de líneas y la inversión en infraestructura

Al año 2006 se tiene una inversión promedio de **203** soles por usuario nuevo y en el año 2007 se tiene **273** soles por usuario nuevo.

f. Interconexión con otros operadores

Se observó que el día del si bien existió un aumento en las comunicaciones on-net, las comunicaciones hacia otros operadores disminuyeron. El informe concluye que para el estudio de este punto específico se requiere una inspección específica.

iv. Telefónica del Perú S.A.A**a. Capacidad de operación de las centrales de conmutación**

En este punto se tiene que la empresa en sus centros nodales, centrales cabeceras y centrales de conmutación poseen un porcentaje de ocupación de procesamiento menor al **60%**.

b. Capacidad del sistema de gestión de tráfico y el dimensionamiento de las redes de telecomunicaciones

La red de la empresa cuenta con 5 Centros de Gestión que supervisan y gestionan la red. Estos centros cuentan con la limitación de tener que procesar los datos antes de tomar decisiones, es decir, no poseen una gestión dinámica del tráfico. Respecto a la capacidad de los enlaces de interconexión, se tuvo que existen rutas con alta congestión, presentando probabilidades de bloque mayor al **1%** el cual es mayor al diseño de grado de servicio (GOS) utilizado por la empresa y recomendado por la UIT²³.

c. Sistemas de respaldo y sistemas de energía alterna

La empresa cuenta con redundancia en los procesadores tanto en sus Centrales nodales como en sus sistemas de transmisión tanto en Lima metropolitana como con provincia, respecto al tema de energía se concluye que cuenta con bancos de baterías y grupos electrógenos, es decir cuenta con sistemas de respaldo adecuados.

d. Crecimiento de líneas y la inversión en infraestructura

La empresa en el año 2007 al mes de julio ha realizado una inversión de casi 70% de la inversión del año 2006, por lo que se concluye que ha seguido un crecimiento razonable en cuanto a infraestructura por usuario nuevo.

²³ Recomendación E.543-UIT “Grado de Servicio en las Centrales Internacionales Digitales”

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES TETRA

1.- Generalidades

El sistema de comunicaciones TETRA (Terrestrial Trunked Radio) es un estándar de comunicaciones inalámbricas digitales que hace uso del sistema de canales múltiples de selección automática (troncalizado) definido por la ETSI en su normal ETSI 300 932-1 publicado en el mes de febrero de 1996, así mismo ha sido ratificado mediante una nueva versión, en enero del 2009.

TETRA al ser un sistema abierto, no propietario, presenta dos ventajas principales: la interoperabilidad de equipos en todos los subsistemas, lo cual es indispensable para comunicaciones de emergencia así mismo, origina un mercado de equipos y componentes que ayudará a contar con equipos de calidad y precios que permitan la inversión en este tipo de sistemas.

Entre los puntos sobresalientes de ésta tecnología podemos incluir:

- Optimización del espectro mediante el uso de TDMA que permite tener hasta 4 ranuras de tiempo por cada canal físico.
- Posee un rápido acceso en comparación con otros sistemas (<1segundo).
- Permite flexibilidad y confiabilidad al poder utilizar la Operación de Modo Directo (DMO) mediante el cual las comunicaciones no pasan por una estación base.
- Posee la capacidad de transmisión de datos.
- Tiene la posibilidad de encriptación end-to-end.
- Maneja mensajes de voz, datos e imagen

En general ésta tecnología posee una gran similitud con otros sistemas móviles, en especial con la tecnología GSM, sin embargo; existen a la vez grandes diferencias entre estas tecnologías, muchas de éstas diferencias son las que hacen a la tecnología TETRA como una de las de mejor desarrollo para las comunicaciones que requieren una gran

flexibilidad, robustez y adaptación a distintos escenarios como son las comunicaciones de emergencia y aplicaciones de seguridad (policía, bomberos, Defensa Civil, etc.), algunas de éstas diferencias son:

- **Llamadas de Grupo:** Los sistemas móviles convencionales no poseen requerimiento para este tipo de llamadas, si bien en algunos este requerimiento puede ser soportado por otras modalidades (llamadas tripartita por ejemplo) no están diseñados para esto, tecnología TETRA posee una gran flexibilidad para esto, como el permitir a los usuarios ingresar o dejar grupos de comunicación o la posibilidad de contactar a todos los usuarios de un área específica.
- **Operación mediante Despachador:** TETRA permite tener uno o mas despachadores que interactúan con los usuarios, monitorean las comunicaciones, empiezan o finalizan comunicaciones, ejecuten funciones de localización y comunicaciones avanzadas. Esto permite que los distintos centros de control de los organismos (Policía, Centrales de Emergencia, Bomberos, FFAA) cuenten con despachadores (también conocidos como operadores) del sistema integrados, logrando un óptimo manejo y administración del sistema.
- **Operación en Modo Directo (Direct Mode Operation – DMO):** En este modo de operación los terminales se comunican sin pasar una estación base o el resto de la infraestructura de la red. Existen distintas configuraciones en los terminales para la combinación de DMO y el modo de operación normal (Trunking Mode Operation – TMO) a fin de adaptarse a las distintas y particulares necesidades de cada red. Esta funcionalidad no es soportada por los sistemas móviles tradicionales principalmente por un tema de facturación y administración (estos sistemas están orientados a ambientes comerciales). De igual forma existen el modo **“Respaldo” (Fallback)** que es usado si en un determinado momento una estación base pierde conexión con el núcleo de la red, en este modo de comunicación los terminales de los usuarios que se encontraban en capacidad de comunicarse (registrados) antes de la pérdida del enlace podrán seguir comunicándose dentro del área de cobertura de la estación base o en área extendida con las otras estaciones base con las que tiene enlace, esto se logra dado que cada estación base guarda una copia de la base de datos de usuarios registrados en un momento dado. Ésta base de datos es actualizada constantemente.

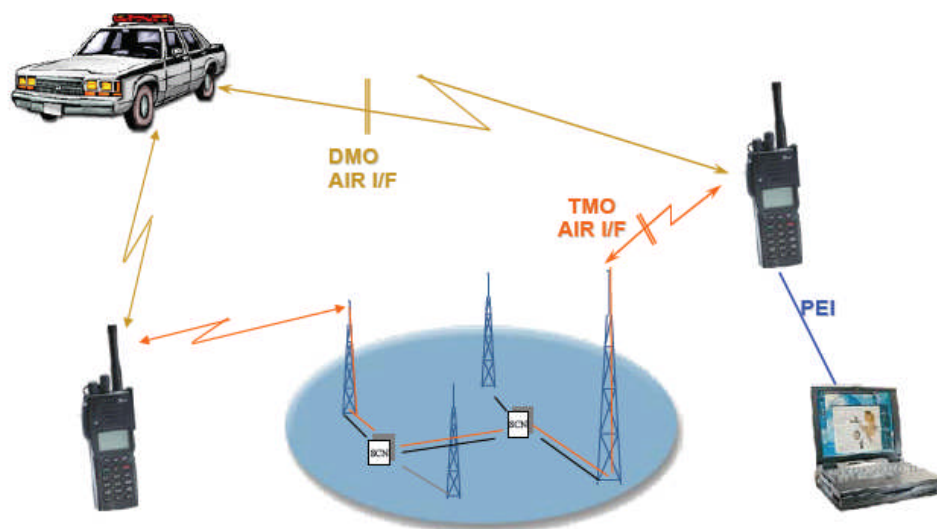


Figura 12: Modos de Comunicación

- **Rápido Establecimiento de Llamada:** Los usuarios de los sistemas móviles tradicionales antes de comunicarse con otro usuario deben marcar un número y esperar que la llamada sea conectada, esto causa una demora en el establecimiento de la llamada. Los usuarios TETRA haciendo uso del PTT (Push-to-Talk) lo único que necesitan hacer es presionar un botón y se establecerá la llamada con una demora menor a un segundo.
- **Capacidad de priorización de llamadas:** Se pueden tener distintas prioridades dentro del sistemas para las llamadas de los usuarios, es decir, es posible asignar una prioridad distinta para cada tipo de usuario lo cual podría ser de mucha utilizada para clientes con una estructura jerárquica donde un usuario de mayor jerarquía tendrá la posibilidad de que se le asigne un canal antes que a otro de menor jerarquía. De igual manera se pueden definir llamadas de emergencia que tendrán prioridad sobre cualquier otra llamada que ingrese al sistema o que se encuentre en curso si da el caso de tener todos los canales llenos, garantizando la capacidad de comunicación de un usuario en particular cuando sea necesario. Éste sistema también cuenta con la posibilidad de definir el tiempo máximo que un usuario puede usar un canal de comunicación, esto a fin de evitar la saturación del sistema en comunicaciones que no son prioritarias.
- **Servicios especiales y suplementarios:** La tecnología TETRA al estar diseñada para comunicaciones no comerciales y con necesidades de gran robustez y adaptación cuenta con algunos servicios especiales, entre estos servicios tiene la opción de “**Escucha de Ambiente**” (**Ambient Listening**), con esta opción el despachador o un

usuario con privilegios puede realizar una llamada a un usuario en particular mediante la cual incrementa la sensibilidad del micrófono del terminal del usuario logrando escuchar lo que sucede a los alrededores del usuario, ésta es una funcionalidad de gran ayuda sobre todo para casos de robos, asaltos o situaciones de peligro donde un usuario necesita comunicarse pero sin tener el terminal en sus manos. Dentro de los servicios suplementarios tenemos el envío de mensajes cortos de texto (Short Data Service – **SDS**), transmisión de datos, transmisión de video de baja velocidad, llamada en espera, reenvío de llamadas entre otros.

La arquitectura de una red TETRA convencional es como se muestra a continuación:

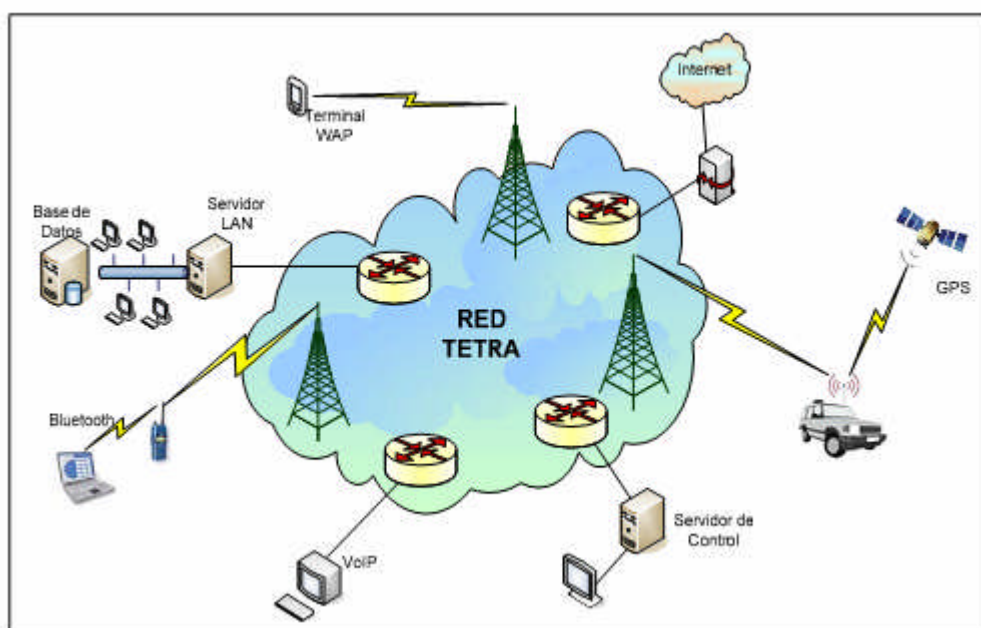


Figura 13: Arquitectura TETRA basada en IP

En el caso particular de TETRA cada BTS con tiene una serie de elementos que permiten la gestion de las comunicaciones provenientes de la infraestructura central, así como de los terminales adscritos a su zona de cobertura. La BTS contiene como elementos principales:

- Unidad de control (BCU),
- Estación Base (BS),
- Controlador de Sitio (BSC),
- Módulo de Acoplamiento (Duplexor)

Se ha explicado de manera general algunas de las funcionalidades de la tecnología y sus principales diferencias con los sistemas móviles convencionales orientados a

aplicaciones comerciales, en el siguiente punto se detallarán los parámetros, interfaces y subsistemas utilizados en una arquitectura común de la tecnología TETRA.

2.- Descripción de la tecnología

Dentro del estándar TETRA se define una Descripción General de la Red²⁴ y las especificaciones para la Interfaz Aire²⁵, sin embargo; existen componentes del sistema que son definidos por cada fabricante siempre que cumplan los requisitos de la descripción general de la red.

La tecnología TETRA utiliza el método de acceso es **TDMA** lo cual permite tener hasta **4** ranuras de tiempo (time slots) por cada portadora. Así mismo es capaz de utilizar **modulación por fase (PSK)** o **modulación de amplitud en cuadratura (QAM)**. Para el caso de la modulación de fase se el ancho de banda de cada portadora es de **25Khz**, para el caso de QAM se pueden tener anchos de banda de **25Khz, 50Khz, 100Khz o 150Khz**.

2.1.- Esquemas de Modulación utilizados

Para la modulación de fase se utiliza el esquema **Desplazamiento Diferencial de Cuadratura de Fase desplazado en $\pi/4$ ($\pi/4$ -DQPSK)** o **Desplazamiento Diferencial de 8 símbolos desplazado en $\pi/8$ ($\pi/8$ -D8PSK)**, la velocidad de transmisión es de **36Kbps** para $\pi/4$ -DQPSK y **54Kbps** para $\pi/8$ -D8PSK.

La ventaja de $\pi/4$ -DQPSK es que posee una fácil demodulación. La constelación de este esquema puede tomarse como dos constelaciones QPSK rotadas $\pi/4$ entre ellas. Cada vez que un símbolo es transmitido éste es seleccionado de forma alternada de la constelación opuesta, esto permite que las transiciones de la señal no pasen por el punto de origen, lo que resulta tener una menor variación a la salida de la señal logrando mejores características espectrales. Cada símbolo define el cambio entre la fase actual y la fase siguiente a la transición (modulación diferencial), esta codificación permite al receptor analizar solo el ángulo del cambio de fase y no todo el valor de ésta, simplificando de esta forma el diseño del receptor. Para la transmisión se utiliza el **Código Gray**. El símbolo transmitido $S(k)$ debe resultar de una codificación diferencial. Esto quiere decir que debemos obtener $S(k)$ aplicando una transición de fase $D\varphi(k)$ al símbolo anterior $S(k-1)$, de cual obtendríamos la siguiente expresión:

²⁴ Estándar ETSI EN 300 392-1 "Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General Network Design"

²⁵ Estándar ETSI EN 300 392-2 "Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI)"

$$S(k) = S(k-1) \exp(jD\phi(k))$$

$B(2k-1)$	$B(2k)$	$D\phi(k)$
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$+3\pi/4$
0	0	$+\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

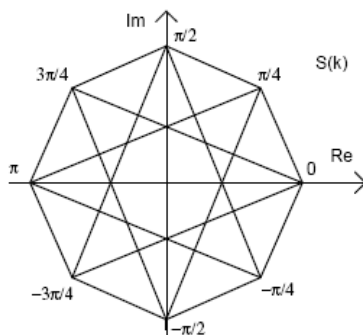


Figura 14: Constelación $\pi/4$ -DQPSK

En cuanto al esquema de modulación $\pi/8$ -D8PSK se tiene la siguiente constelación:

$B(3k-2)$	$B(3k-1)$	$B(3k)$	$D\phi(k)$
0	0	0	$+\pi/8$
0	0	1	$+3\pi/8$
1	0	1	$+5\pi/8$
1	0	0	$+7\pi/8$
0	1	0	$-\pi/8$
0	1	1	$-3\pi/8$
1	1	1	$-5\pi/8$
1	1	0	$-7\pi/8$

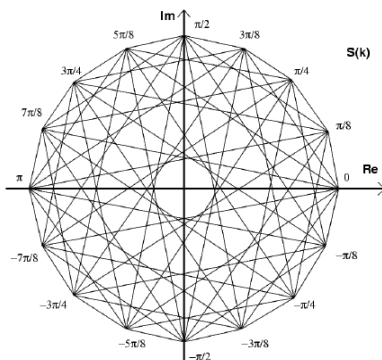


Figura 15: Constelación $\pi/8$ -D8PSK

Para este esquema de modulación el símbolo $S(k)$ puede tomar 8 valores definidos por $\exp(jn\pi/4)$, donde $n = 2,4,6,8$ para valores pares de k y $n = 1,3,5,7$ para valores impares de k .

Para la modulación de amplitud en cuadratura se utilizan los esquemas **4-QAM, 16-QAM o 64-QAM**. Dependiendo del ancho de banda de la portadora en este tipo de modulación se utilizan sub-portadoras, 8 sub-portadoras para el caso de 25Khz, 16 para el caso de 50Khz, 32 para 100Khz, 48 para 150Khz. La tasa de modulación para cada sub-portadora es de 2400 símbolos por segundo.

2.2.- Familia de tramas

La unidad básica de la estructura TDMA es la **ranura de tiempo (timeslot)**, cada timeslot tiene una duración de **85/6** milisegundos (14.17ms aproximadamente), ésta velocidad corresponde a **255 símbolos** para el caso de la modulación de fase o **34 símbolos** en el caso de la modulación QAM, los Timeslot son numerados utilizando el **Número de TimeSlot** (Time Slot Number – **TN**).

En cuanto a las tramas en TETRA tenemos que cada portadora posee 4 timeslots, a estos 4 timeslots se les conoce como **trama TDMA**. Cada una de éstas tramas es transmitida en aproximadamente **340/6** milisegundos (56.67ms aproximadamente), cada trama es numerada utilizando el **Número de Trama** (Frame Number – **FN**), el FN va desde el 1 hasta el 18, la trama **FN18** es utilizada exclusivamente para los canales de control.

Luego estas tramas son acomodadas en una **multitrama TDMA**. La multitrama contiene **18 tramas**, la cual es transmitida en aproximadamente **1.02s**. La **hipertrama** posee **60 multitramas** y es transmitida en un intervalo de tiempo de **61.2s**.

Como se había mencionado la duración de un timeslot es de **85/6ms** y la duración de una trama es **340/6ms**, estos valores los obtenemos de la siguiente manera: El período de generación de una señal TETRA es de **60ms**, así mismo se indicó que se tienen como máximo 18 tramas en una multitrama y una de ellas es exclusiva de control por lo que se tiene 17 tramas de información, entonces si “V” es el volumen de información de una multitrama y “T” es la duración de una trama tendremos:

$$\frac{V}{60} * \frac{18}{17} = \frac{V}{T} \rightarrow T = \frac{60 * 17}{18} ms = \frac{340}{6} ms$$

Luego una trama contiene 4 timeslots, por lo tanto la duración de cada timeslot es:

$$Ts = \frac{T}{4} = \frac{340}{6 * 4} = \frac{85}{6} ms$$

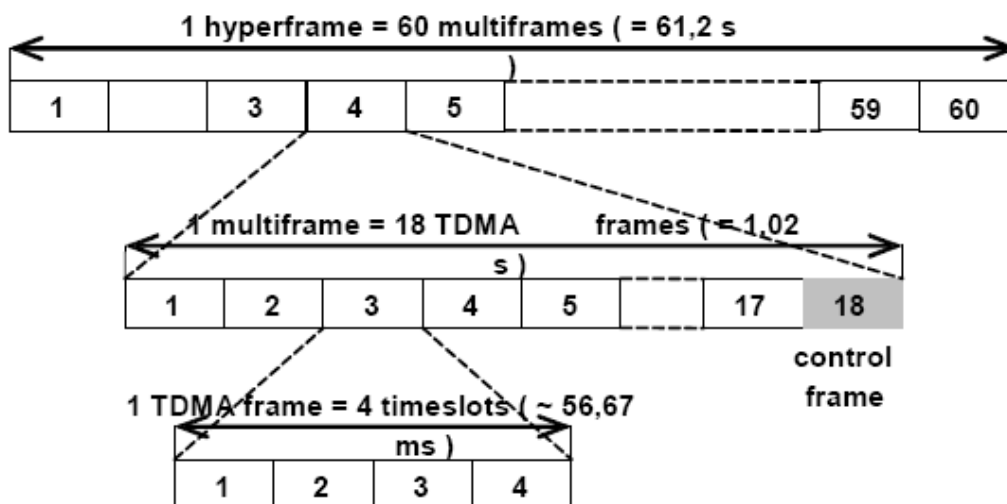


Figura 16: Familia de Tramas en TETRA

2.3.- Ráfagas en TETRA

El contenido de bits de un determinado timeslot se denomina ráfaga. En TETRA se han definido 9 tipos de ráfagas:

- **Ráfagas ascendentes**

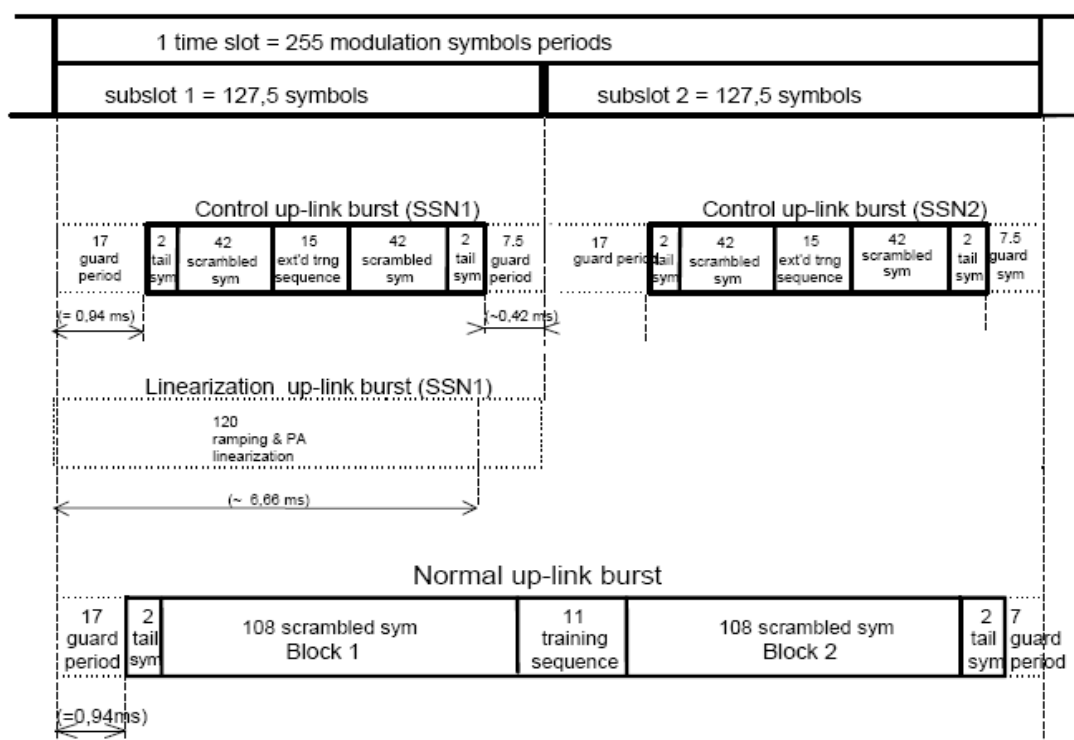
- i. **Ráfaga de Control (Control Burst – CB):** Esta ráfaga es utilizada por los MS para transmitir mensajes de control a la BTS.
- ii. **Ráfaga de Linealización:** Es utilizada por los MS para linealizar la potencia de sus transmisores. En esta ráfaga no se transmite información, solo se da un período de tiempo para la linealización.
- iii. **Ráfaga Normal (Normal Uplink Burst – NUB):** Esta ráfaga es utilizada por los MS para transmitir mensajes de tráfico o de control hacia la BTS.
- iv. **Acceso Aleatorio (Random Access):** Esta ráfaga es utilizada solo en los sistemas con modulación QAM.

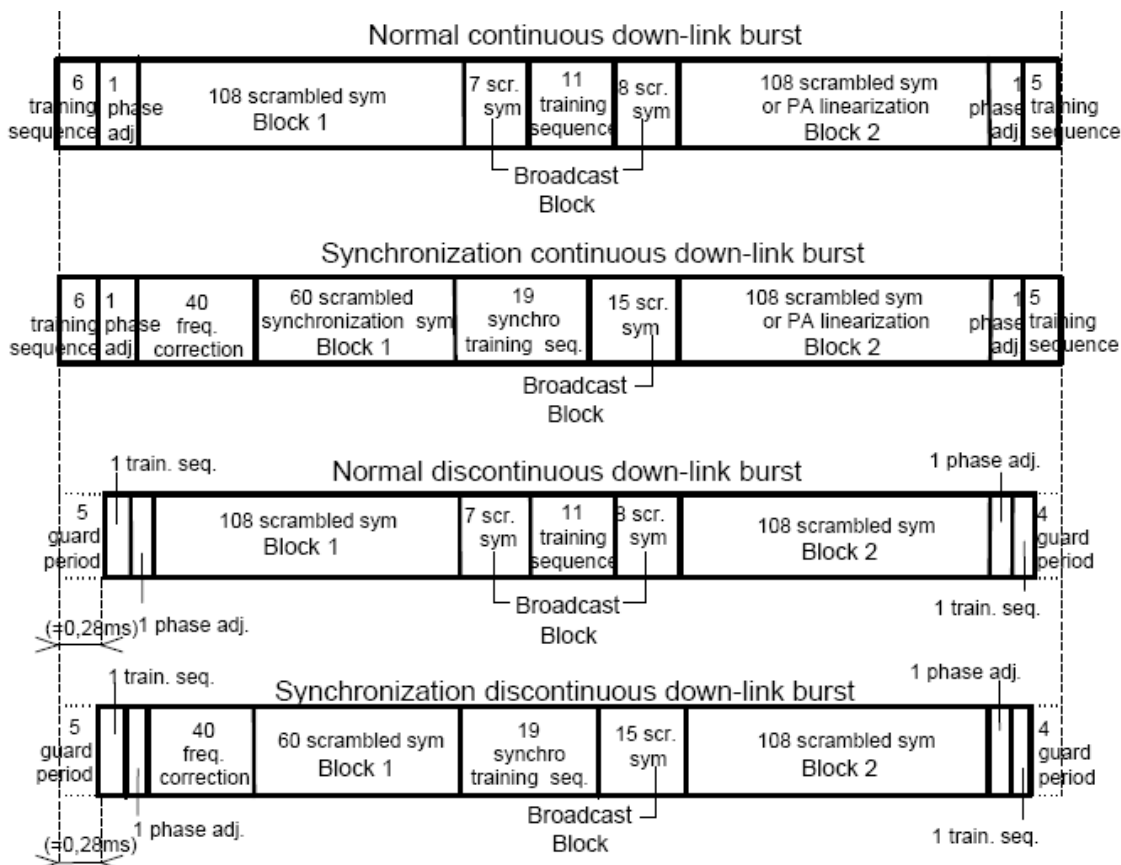
- **Ráfagas Descendentes:**

- i. **Ráfaga Normal Continua (Normal Downlink Burst – NDB):** Es utilizada por las BTS para transmisiones de modo continuo para mensajes de tráfico o control a los MS. Esta ráfaga no posee períodos de guarda.
- ii. **Ráfaga Normal Discontinua:** Es utilizada por las BTS para transmisiones en modo tiempo compartido para mensajes de tráfico o control a los MS. A diferencia de la Ráfaga Continua, ésta posee períodos de guarda.

- iii. **Ráfaga de Sincronización Continua (Synchronization Burst – SB):** Es utilizado para transmisiones de modo continuo (ráfaga completa, sin períodos de guarda) para mensajes de sincronización y señales de control a los MS.
- iv. **Ráfaga de Sincronización Discontinua:** Es utilizado para transmisiones en modo tiempo compartido para mensajes de sincronización y señales de control a los MS. A diferencia de la Ráfaga Continua, ésta posee períodos de guarda.
- v. **Ráfaga de Linealización:** Es utilizada por las BTS para linealizar la potencia de sus transmisores. En esta ráfaga no se transmite información, solo de da un período de tiempo para la linealización.

La cantidad de bits en cada una de las ráfagas depende del tipo de modulación utilizado. En el Anexo I se indican las distintas ráfagas para las distintas modulaciones. Como ejemplo para la modulación en fase se tiene:





2.4.- Canales Físicos de TETRA

En la tecnología TETRA se manejan canales tanto canales físicos como canales lógicos, en cuanto a los canales físicos se tienen 3 tipos:

- **Canal Físico de Tráfico (TP):** Éste canal se encarga de transportar los canales de tráfico principalmente. Este canal no es utilizado para sistemas que utilizan modulación $\pi/8$ -D8PSK
- **Canal Físico de Control (CP):** Éste se encarga de transportar exclusivamente los canales de control. Uno de los CP se define como **Canal de Control Principal (Main Control Channel – MCCH)**, el resto se definen como **Canales de Control Extendidos (Extended Control Channel – ECCH)**. La portadora que contiene el MCCH es conocida como **Portadora Principal**. En cada celda se debe definir al menos un MCCH, este MCCH debe ser alojado en el primer timeslot de la Portadora Principal. El **Canal de Control Secundario (SCCH)** es un tipo de ECCH y se puede utilizar para aumentar la capacidad de señalización de una celda determinada y solo debe ser utilizada cuando el MCCH este ocupado.

- **Canal Físico de Sin Asignar (UP):** Éste es canal aloja a las Estaciones Móviles (MS) del sistema. Este canal no es utilizado para sistemas que utilizan modulación $\pi/8$ -D8PSK

2.5.- Canales Lógicos en TETRA

Los canales lógicos son vías de comunicación entre dos o más elementos de la red. Éstos canales son divididos en dos categorías, los canales de tráfico que soportan transmisiones de datos o voz mediante conmutación de circuitos y los canales de control que transportan señalización y paquetes de datos. Los canales lógicos que soporta TETRA, se definen a continuación:

- **Canales de tráfico (TCH):** Los canales de tráfico son los que transportan la información del usuario (transmisiones de voz y de datos). Los TCH se dividen en **Canales de Tráfico de Voz (Speech Traffic Channel – TCH/S)** y **Canales de Tráfico en Modo Circuito (TCH/x)**, que transportan datos, “x” es la velocidad de transferencia del canal, para modulaciones $\pi/4$ -DQPSK se tienen velocidades de **2.4Kbps, 4.8Kbps, 7.2Kbps, 9.6Kbps, 19.2Kbps y 28.8Kbps**, para la modulación $\pi/8$ -D8PSK se tiene un único canal **TCH/10.8** con una velocidad de **10.8Kbps**.
- **Canales de Control (CCH):** Los Canales de Control son los encargados de transportar los mensajes de señalización y las transmisiones de datos en modo paquete (**Packet Data**). Dentro de los canales de control tenemos los siguientes tipos:
 - Broadcast Control Channel (BCCH):** El BCCH es un canal unidireccional para recepción común por parte de todos los MS de la red. Mediante este canal se envía en modo broadcast (dirigida a todos) información general a todos los usuarios. Existen dos tipos de este canal, el **Broadcast Network Channel (BNCH)** que se utiliza para enviar información de la red a los MS y el **Broadcast Synchronization Channel (BSCH)** que se utiliza para enviar información de sincronización a todos los MS. Este tipo de canal como ya se dijo es un canal unidireccional descendente. (De la BTS al MS).
 - Linearization Channel (LCH):** Este canal de control es utilizado para linealizar las transmisiones entre las Estaciones Base (BTS) y los suscriptores (MS). De esta forma es posible la BTS pueda “escuchar” a distintos usuarios ubicados a distintas distancias de la estación. La estación base envía información a los terminales respecto de la calidad y potencia con la que escucha a cada uno de ellos, de acuerdo a las características del medio en cada instante. Esto permite que los terminales mas

próximos a la estación base reduzcan su potencia de transmisión y los mas alejados puedan ser detectados sin inconvenientes. Existen dos tipos de LCH, se tienen los **Common Linearization Channel (CLCH)**, éste canal es compartido por todos los MS en forma ascendente, el **BS Linearization Channel (BLCH)** es el utilizado por las BTS de forma descendente.

- iii. **Signalling Channel (SCH):** Este canal es utilizado para las funciones de señalización, el SCH es compartido por todos los MS de la red. Para la operación del sistema es necesario que se establezca al menos un SCH por BTS. Dependiendo del tamaño del mensaje que lleve este canal se puede dividir en tres tipos: **Full size Signalling Channel (SCH/F)** que es un canal bidireccional usado para mensajes de tamaño completo, **Half size Downlink Signalling Channel (SCH/HD)** es un canal unidireccional descendente usado para mensajes de mitad de tamaño y también se tiene el **Half size Uplink Signalling Channel (SCH/HU)** que es el canal unidireccional ascendente para mensajes de mitad de tamaño. Para el caso de un sistema que utilice modulación QAM también se tendría el **Random Access Uplink Signalling Channel (SCH-Q/RA)**.
- iv. **Access Assignment Channel (AACH):** La función de este canal es asignar en cada canal físico las ranuras de tiempo ascendentes o descendentes. Este canal debe estar presente en todas las transmisiones descendentes.
- v. **Stealing Channel (STCH):** Este canal esta asociado a algún canal de tráfico y se encarga de “robar” temporalmente parte de la capacidad del TCH para transmitir mensajes de control. Esto es utilizado cuando se requiere una rápida señalización. Este canal es exclusivo para los sistemas que utilizan modulación de fase.
- vi. **Slot Information Channel (SICH-Q):** Este canal es utilizado para indicar la información que esta transportando la ranura de tiempo, indica la modulación y la codificación que esta siendo utilizada. Se tienen dos tipos **Downlink Slot Information Channel (SICH-Q/D)** y el **Uplink Slot Information Channel (SICH-Q/U)**. Este canal es exclusivo para los sistemas que utilizan modulación QAM.

2.6.- Secuencias de Ajuste

En TETRA se han establecido secuencias de ajuste normal (para las modulaciones de fase) dependiendo del tipo de modulación utilizada. El tipo de secuencia debe ser utilizado como un indicador de la presencia de uno o dos canales lógicos dentro de una determina

ráfaga. Estas son secuencias son utilizadas tanto en las ráfagas ascendentes como descendentes.

- **Modulación $\pi/4$ -DQPSK:** Utilizando esta modulación cada secuencia de ajuste normal posee una longitud de 22 bits. Existen 3 tipos.

Normal training sequence	Logical channel
1	TCH SCH/F
2	STCH + TCH STCH + STCH SCH/HD + SCH/HD SCH/HD + BNCH

Tabla 2: Tipos de Secuencia de Ajuste para $\pi/4$ -DQPSK

El tercer tipo es una secuencia suplementaria y enviada entre dos ráfagas descendentes seguidas.

- **Modulación $\pi/8$ -D8PSK:** Utilizando esta modulación cada secuencia de ajuste normal posee una longitud de 33 bits. Existen 2 tipos.

Normal training sequence	Logical channel
1	SCH-P8/F
2	SCH-P8/HD + SCH-P8/HD

Tabla 3: Tipos de Secuencia de Ajuste para $\pi/8$ -D8PSK

2.7.- Relación entre los Canales Lógicos y los Canales Físicos

A continuación se detallarán la relación entre la asignación de los canales lógicos en los canales físicos y cada uno de los tipos de ráfagas.

- **Asignación de Canales en sistemas con modulación $\pi/4$ -DQPSK:** Los canales físicos definidos para $\pi/4$ -DQPSK utilizan ráfagas $\pi/4$ -DQPSK. Las ráfagas $\pi/4$ -DQPSK utilizan modulación $\pi/4$ -DQPSK. La asignación de canales lógicos en los canales físicos se muestra a continuación.

Logical channel	Direction	Burst type	Physical channel	FN
BSCH	DL	SB	CP, TP UP	18 1...18
BNCH	DL	NDB	CP,TP	18
		NDB	CP	1...18
		SB	UP	1...18
AACH	DL	NDB, SB	CP, TP, UP	1...18
BLCH	DL	NDB,SB	CP, UP	1...18
			TP	18
CLCH	UL	LB	CP, TP	18
			CP, UP	1...18
SCH/F	DL	NDB	CP	1...18
	UL	NUB	TP	18
SCH/HD	DL	NDB, SB	CP, UP	1...18
			TP	18
SCH/HU	UL	CB	CP	1...18
			TP	18
TCH	DL	NDB	TP	1...17
	UL	NUB	TP	1...17
STCH	DL	NDB	TP	1...17
	UL	NUB	TP	1...17

Tabla 4: Asignación de canales en $\pi/4$ -DQPSK

- Asignación de Canales en sistemas con modulación $\pi/8$ -D8PSK:** Un canal D8PSK de forma general puede referirse a un canal que soporta ráfagas $\pi/4$ -DQPSK y ráfagas $\pi/8$ -D8PSK. Las ráfagas $\pi/4$ -DQPSK usan modulación $\pi/4$ -DQPSK mientras que las ráfagas $\pi/8$ -D8PSK pueden utilizar modulación $\pi/4$ -DQPSK y modulación $\pi/8$ -D8PSK. La asignación de canales lógicos en los canales físicos se muestra a continuación.

Logical channel	Direction	Burst type	Physical channel	FN
BSCH	DL	SB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	18
BNCH	DL	NDB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	18
		NDB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
AACH	DL	NDB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
		NDB ($\pi/8$ -D8PSK) (see note 2)		
		SB ($\pi/4$ -DQPSK)		
BLCH	DL	NDB, SB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
		NDB ($\pi/8$ -D8PSK)		
CLCH	UL	LB	CP	18
			CP	1...18
SCH/F	DL	NDB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
	UL	NUB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
SCH-P8/F	DL	NDB ($\pi/8$ -D8PSK)	CP	1...18
	UL	NUB ($\pi/8$ -D8PSK)	CP	1...18
SCH/HD	DL	NDB, SB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
SCH-P8/HD	DL	NDB ($\pi/8$ -D8PSK)	CP	1...18
SCH/HU	UL	CB ($\pi/4$ -DQPSK)	CP	1...18
SCH-P8/HU	UL	CB ($\pi/8$ -D8PSK)	CP	1...18

Tabla 5: Asignación de canales en $\pi/8$ -D8PSK

- **Asignación de Canales en sistemas con modulación QAM:** Para el caso de sistemas que utilizan esquemas de modulación QAM, tendríamos:

Logical channel	Direction	Burst type	Physical channel	FN
BNCH-Q	DL	NDB	CP, UP	1...18
AACH-Q	DL	NDB	CP, UP	1...18
SICH-Q/D	DL	NDB	CP, UP	1...18
SICH-Q/U	UL	NUB, CB	CP	1...18
BLCH-Q	DL	LDB	CP, UP	1...18
CLCH-Q	UL	LB	CP	18
			CP, UP	1...18
SCH-Q/D	DL	NDB	CP, UP	1...18
SCH-Q/U	UL	NUB	CP	1...18
SCH-Q/HU	UL	CB	CP	1...18
SCH-Q/RA	UL	RAB	CP	1...18

Tabla 6: Asignación de canales en QAM

2.8.- Modos de transmisión y de Control

Se tienen los siguientes modos de transmisión para los enlaces descendentes:

- **Transmisión en modo Continuo (Dowlink Continuous Transmission – D-CT):** Cuando una BTS transmite en modo D-CT se utilizan ráfagas continuas interrumpidas descendentes hacia los MS utilizando la portadora principal. En el resto de portadoras se pueden tener transmisiones discontinuas. Las ráfagas de descarga normal continua (**NDB**) y las ráfagas de sincronización (**SB**) deben ser transmitidas en todos los timeslots sin utilizar de la portadora principal y pueden ser transmitidos en los UP de las otras portadoras. Para indicar el inicio y fin de este modo de transmisión se utilizan ráfagas especiales (de arranque y parada respectivamente).
- **Transmisiones en modo Tiempo Compartido (Downlink-Carrier Timesharing Transmission – D-CTT):** En este modo de transmisión una misma portadora (frecuencia) puede ser compartida por distintas celdas o BTS. Se pueden alojar hasta cuatro BTS distintas por portadora. La BTS utiliza ráfagas de descarga discontinuas y de sincronización descendentes.
- **Transmisiones en modo Canal Principal de Control de Tiempo Compartido (Downlink-Main Control Channel Timesharing Transmisión – D-MCCTT):** En este modo de transmisión el canal de control principal es compartido por distintas celdas o BTS. En este modo la BTS utiliza la ráfaga de descarga discontinua.
- **Transmisión en modo Múltiple (Uplink-Multiple Slot Transmisión – U-MST):** En este modo de transmisión entre dos y cuatro canales físicos son utilizados para la misma comunicación. En este caso la BTS no necesita interrumpir sus transmisiones en las fronteras de los timeslots.

El estándar también define dos modos de Control:

- **Modo de Control Normal (Normal Control Mode – NCM):** Este modo proporciona a TETRA los servicios con máximos desempeños. Requiere de la asignación de un Canal de Control Principal.
- **Modo de Control Mínimo (Minimum Control Mode – MCM):** En este modo se proporcionan los servicios con calidad reducida. Con este modo todo los canales físicos de la portadora son asignados para tráfico.

2.9.- Calidad en la recepción:

La calidad de la recepción en TETRA se puede medir a través de 3 parámetros que indican la tasa de error de los bits transmitidos así como la probabilidad de mensajes con errores. Los parámetros son:

- **Tasa de Bits Erróneos** (Bit Error Rate – **BER**): Se define como el número de bits erróneos recibidos entre el número de bits totales recibidos en un determinado canal lógico.
- **Tasa de Mensajes Erróneos** (Message Error Rate – **MER**): Se define como el número de mensajes detectados por el receptor como erróneos entre el número total de mensajes recibidos en un determinado canal lógico.
- **Probabilidad de Mensajes Erróneos sin Detectar** (Probability of Undetected Error Messages – **PUEM**): Se define como el número de mensajes erróneos detectados como válidos entre el número total de mensajes recibidos en un determinado canal.

CAPÍTULO IV PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.- Parámetros Generales del Sistema

En el presente capítulo se desarrollara la planificación del proyecto. Como se ha indicado anteriormente la tecnología TETRA es capaz de utilizar tanto modulación de fase (PSK) como modulación por amplitud en cuadratura (QAM). El presente proyecto estará basado modulación de fase. Así mismo, cada una de las estaciones de la red poseerá una configuración de irradiación de manera omnidireccional, no se utilizará sectorización en cada una de ellas. Dentro de las ventajas de utilizar un esquema omnidireccional contra un esquema sectorizado tenemos:

- Mejor eficiencia en las funciones de troncalizado (menos canales de control)
- Menor costo por estación (menor equipamiento)
- Menor rehúso de frecuencias necesario
- Menor número de frecuencias requeridas
- Presenta menos handovers dentro de la red

Dentro de las desventajas tenemos, tenemos como principal desventaja la menor capacidad de la red dentro de un determinado modelo, sin embargo, esta desventaja para nuestra red, debido a las funciones a las que esta enfocada, no será de gran impacto por lo que se utilizará el esquema omnidireccional. La frecuencia a utilizar para el sistema de acceso²⁶ (de las estaciones hacia los terminales) será en la banda de **395MHz** para transmisión y **385MHz** para recepción. Cada canal tendrá un ancho de banda de **25KHz** y una separación entre transmisión y recepción de **1MHz**. En cada una de las estaciones tendremos **2 TRX (portadoras)** lo que nos dará un total de **8 timeslots**, de éstos 1 será exclusivo para los canales de control y los otros 7 para los canales de tráfico.

²⁶ De acuerdo a la nota P41 del PNAF y a la Resolución Ministerial N°145-2009-MTC/03, se tiene que “...La Banda 380-400 MHz puede ser utilizada para fines de seguridad pública. Las bandas 385-386 MHz y 395-396 MHz están atribuidas para prestar servicio públicos de Telecomunicaciones a título secundario, con fines de seguridad pública o de atención en situaciones de emergencia o de socorro...”

Posteriormente se detallará el análisis de tráfico. Como se ha mencionado en los capítulos precedentes la cobertura del presente sistema estará circunscrita a las provincias de Lima y Callao.

El sistema contará con 10 estaciones (BTS) distribuidas en las provincias mencionadas y un Centro de Operación de Red (NOC) ubicado en la provincia de Lima. Los nodos se encontrarán ubicados en los siguientes puntos:

- **Estación TETRA 001 – Cerro La Quipa**, ubicado en las coordenadas²⁷:
12°27'37.8" S , 76°46'17.4"O
- **Estación TETRA 002 – Conchitas**, ubicado en las coordenadas:
12°12'29.97"S , 76°55'18.51"O
- **Estación TETRA 003 – Morro Solar**, ubicado en las coordenadas:
12°10'45.80"S , 77°01'38.00"O
- **Estación TETRA 004 – Santa Cruz**, ubicado en las coordenadas:
12°06'16.00"S , 77°01'55.22"O
- **Estación TETRA 005 – Cerro La Molina**, ubicado en las coordenadas :
12°04'53.80"S , 76°57'29.00"O
- **Estación TETRA 006 – Centro Cívico**, ubicado en las coordenadas:
12°03'21.05"S , 77°02'14.01"O
- **Estación TETRA 007 – Cerro La Milla**, ubicado en las coordenadas:
12°01'3.30"S , 77°04'0.10"O
- **Estación TETRA 008 – Cerro Morado**, ubicado en las coordenadas:
11°56'43.41"S , 76°59'53.92"O
- **Estación TETRA 009 – Chillón**, ubicado en las coordenadas:
11°53'24.52"S , 77° 5'36.37"O
- **Estación TETRA 010 – El Cuadro**, ubicado en las coordenadas:
11°59'19.86"S , 76°47'26.88"O

La ubicación de los puntos anteriormente indicados ha sido basada en la altura de estos puntos (cerros principalmente) con la finalidad de obtener una gran cobertura con cada una de las estaciones.

Al tener una gran cobertura con cada una de las estaciones se tiene una mayor cantidad de subscriptores en cada una de éstas, sin embargo; ésta al ser una red dedicada a servicios

²⁷ Las coordenadas a utilizar en el presente proyecto serán en el sistema WGS 84.

específicos y no ser una red comercial no se corre el riesgo de bloqueo de las estaciones como se verificará mas adelante en el análisis de tráfico.

La ubicación del **Centro de Operación de Red (NOC)** será en las siguientes coordenadas, **12°06'16.93"S , 77°01'53.92"O**. El NOC no contará con un sistema irradiante de acceso, sin embargo; será considerado dentro del sistema de transporte (punto central). Una característica importante del sistema es que todos los componentes soportan el protocolo Ipv4 por lo que el monitoreo y configuración del sistema se podrá realizara a través de éste protocolo.

2.- Sistema de Transporte

Para el sistema de transporte utilizaremos enlaces microondas PDH. Para este sistema tendremos dos jerarquías, estaciones de primer nivel y estaciones de segundo nivel. Las estaciones de segundo nivel se conectarán a la **Estación TETRA 004 – Santa Cruz** través de alguna estación de primer nivel, mientras que las estaciones de primer nivel estarán conectadas directamente a la **Estación TETRA 004 – Santa Cruz**, luego ésta se conectará al NOC a través de un enlace de fibra óptica y poseerá un enlace de redundancia vía microondas El sistema de transporte formará dos anillos con el fin de brindar redundancia al sistema. Las estaciones por nivel serán:

Estaciones de segundo nivel:

- **Estación TETRA 001 – Cerro La Quipa**
- **Estación TETRA 002 – Conchitas**
- **Estación TETRA 008 – Cerro Morado**
- **Estación TETRA 009 – Chillón**
- **Estación TETRA 010 – El Cuadro**

Estaciones de primer nivel

- **Estación TETRA 003 – Morro Solar**
- **Estación TETRA 004 – Santa Cruz**
- **Estación TETRA 005 – Cerro La Molina**
- **Estación TETRA 006 – Centro Cívico**
- **Estación TETRA 007 – Cerro La Milla**
- **Centro de Operaciones de Red (NOC)**

En cuanto a la capacidad de cada uno de los enlaces tendremos:

- a) De las especificaciones del sistema TETRA tenemos que la comunicación entre la estación base (BTS) y los elementos del núcleo (Core) requiere un ancho de banda de **64Kbps por portadora.**
- b) Para nuestro caso, cada estación tendrá dos TRX por lo que tendremos dos portadoras en cada estación.

$$(64\text{Kbps}) \times (2) = 128\text{Kbps}$$

- c) Los enlaces de segundo nivel transportarán la carga de cómo máximo dos estaciones y de igual forma los enlaces de primer nivel transportarán en el peor de los casos (caía de uno de los anillos) la carga de cómo máximo 6 estaciones por lo que tendremos:
 - Carga para estaciones de segundo nivel: **(128) x (2) = 256Kbps**
 - Carga para estaciones de primer nivel: **(128) x (6) = 768Kbps**
- d) De los resultados obtenidos y teniendo en cuenta el principio de escalabilidad vertical y horizontal tendremos que cada estación de segundo nivel tendrá una capacidad para el sistema de transporte de **2E1 (4Mbps)** y las estaciones de primer nivel tendrán una capacidad de **16E1 (32Mbps).**
- e) Todas estaciones tendrán una configuración de 1+1 HSB en los elementos del sistema de transmisión.
- f) El enlace entre la **Estación TETRA 004 – Santa Cruz** y el **NOC** será a través de un enlace de **Fibra Óptica (Ethernet)** con un enlace de redundancia microondas de **16 E1.**

3.- Plan de Frecuencias

Para el sistema de acceso se utilizará la **Banda B** de **385-386MHz** y **395-396MHz**, ésta banda está definida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en **385.25-385.50MHz** para Ida y **395.25-395.50** para Retorno.

Dado que cada estación tendrá 2 TRX serán necesarias dos frecuencias para transmisión y dos frecuencias para recepción (sistema FDD). Por lo que tendremos.

Estación	Frecuencia Tx (MHz) TRX 1	Frecuencia Tx (MHz) TRX 2	Frecuencia Rx (MHz) TRX 1	Frecuencia Rx (MHz) TRX 2
TETRA 001 La Quipa	395.250	395.275	385.250	385.275
TETRA 002 Conchitas	395.300	395.325	385.300	385.325
TETRA 003	395.350	395.375	385.350	385.375

Morro Solar				
TETRA 004 Santa Cruz	395.400	395.425	385.400	385.425
TETRA 005 Cerro La Molina	395.450	395.475	385.450	385.475
TETRA 006 Centro Cívico	395.250	395.275	385.250	385.275
TETRA 007 Cerro La Milla	395.300	395.325	385.300	385.325
TETRA 008 Cerro Morado	395.350	395.375	385.350	385.375
TETRA 009 Chillón	395.400	395.425	385.400	385.425
TETRA 010 El Cuadro	395.450	395.475	385.450	385.475

Tabla 7 - Plan de Frecuencias para el sistema de Acceso

Para el sistema de transporte se utilizarán enlaces en la banda de 7GHz, el ancho de banda utilizado para cada radio enlace será de **7MHz** para los enlaces de segundo nivel y de **28MHz** para los enlaces de primer nivel. A continuación se detallan las frecuencias para los enlaces.

Enlace	Frecuencia Tx (MHz)	Frecuencia Rx (MHz)	Polarización
La Quipa – Conchitas	7589	7428	V
Conchitas – Morro Solar	7603	7442	V
Morro Solar – Santa Cruz	7652	7498	V
Morro Solar – Cerro La Milla	7708	7554	V
Cerro La Molina – Santa Cruz	7596	7442	V
Centro Cívico – Santa Cruz	7708	7554	H
Centro Cívico – Cerro La Milla	7624	7470	H
Cerro Morado – Centro Cívico	7603	7442	H
El Cuadro – Centro Cívico	7596	7435	V
Morro Solar – Cerro La Molina	7624	7470	V
Chillón – Cerro La Milla	7589	7428	H
Santa Cruz – NOC	7652	7498	H

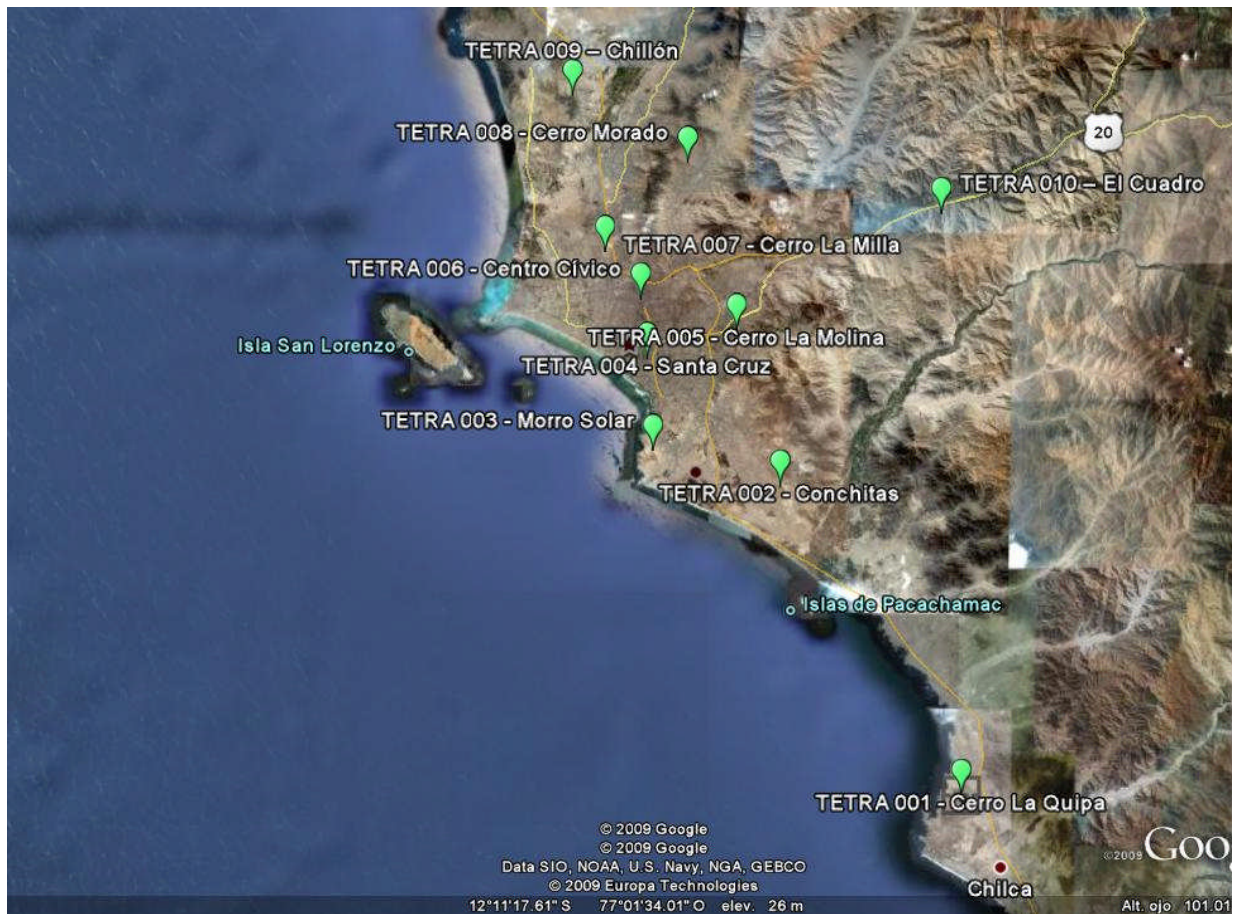
Canales de 28MHz Canales de 7MHz

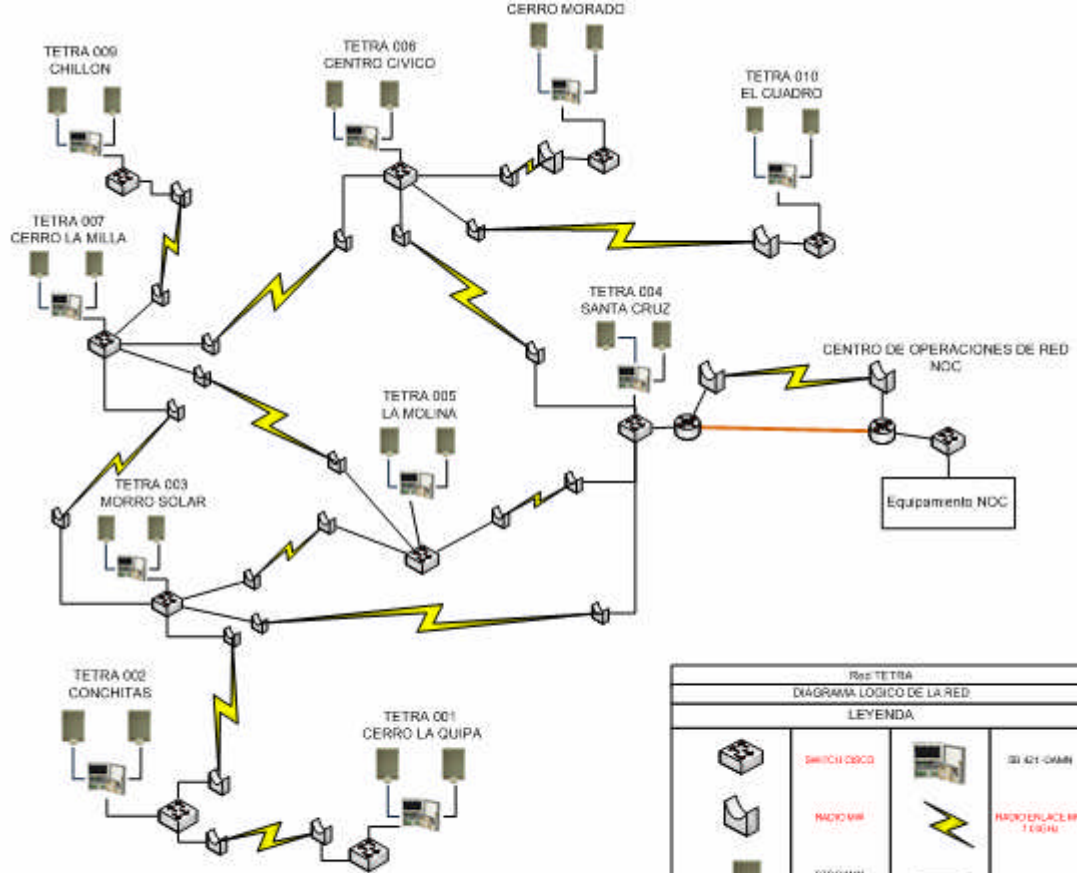
Tabla 8 - Plan de Frecuencias para el sistema de Transporte

4.- Topología del Sistema

De los datos anteriormente definidos tenemos las siguientes topologías:

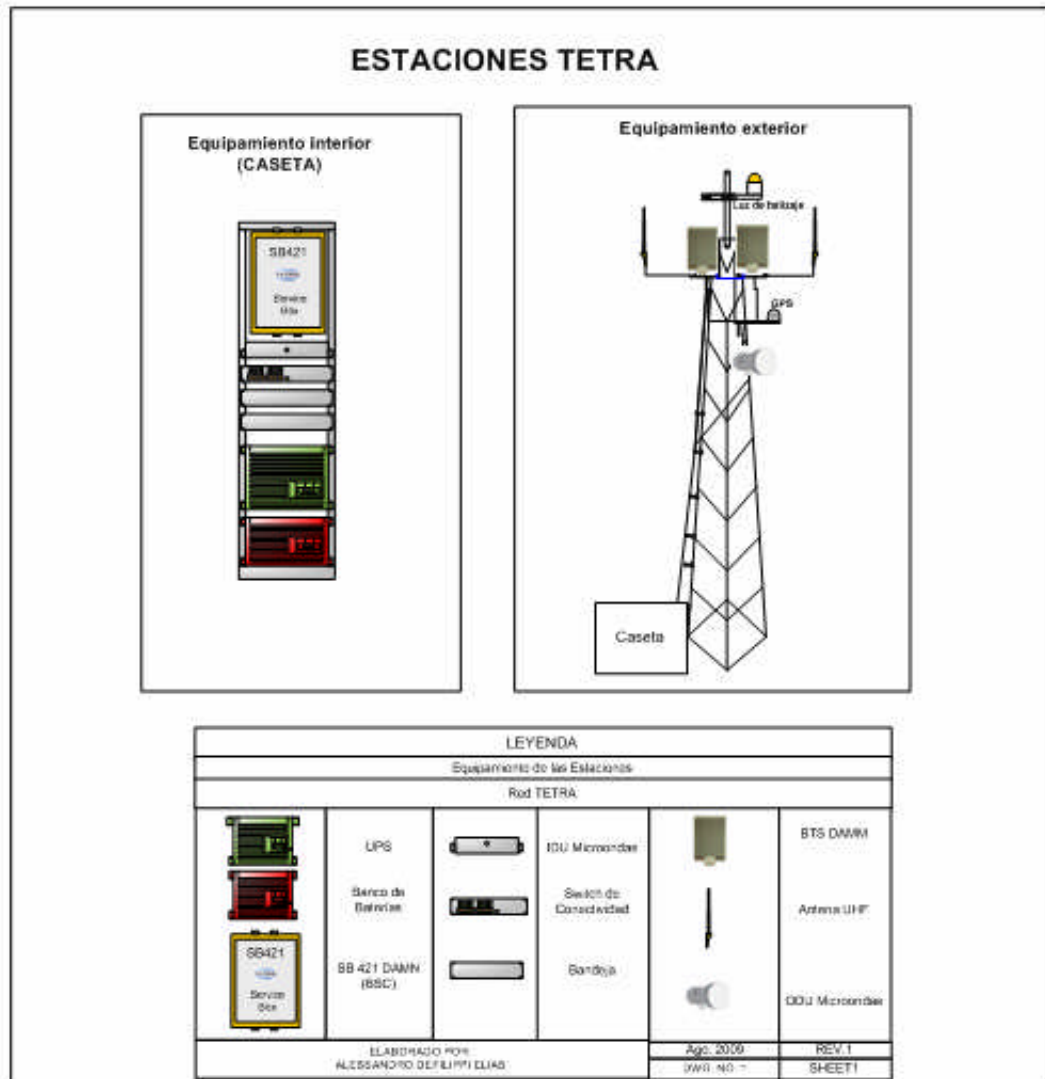
a) Visión General de la red



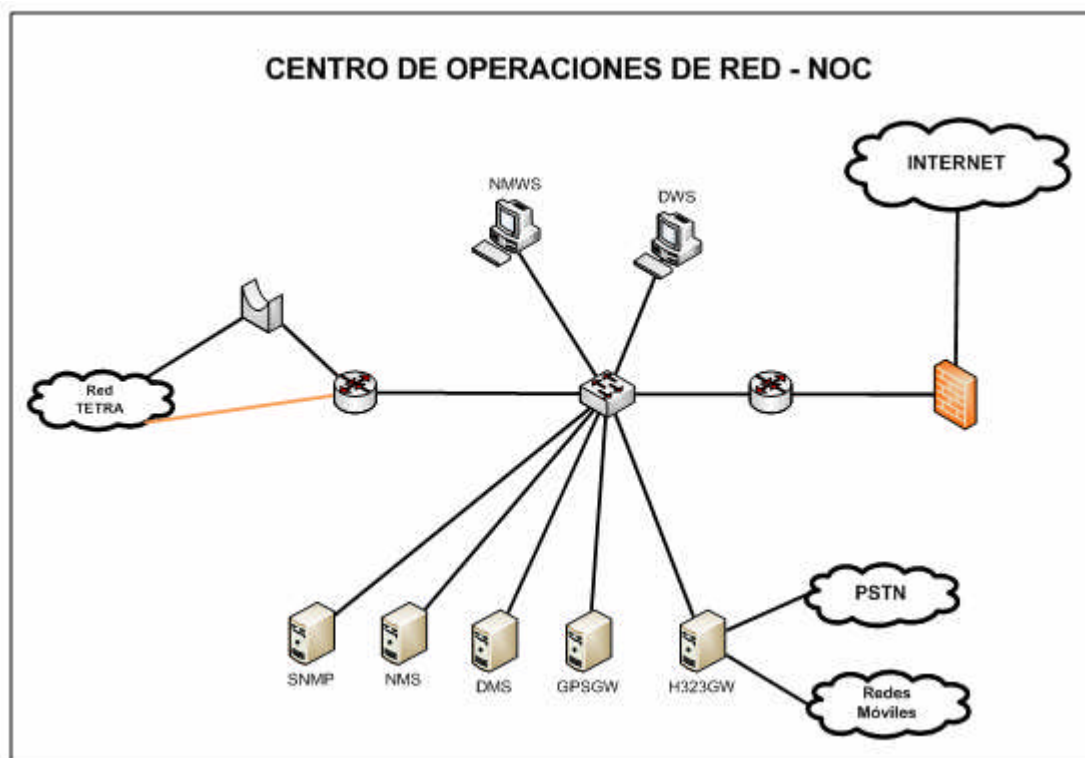


Red TETRA			
DIAGRAMA LOGICO DE LA RED			
LEYENDA			
	SWITCH 2800		RA 421-GMM
	RADIO 400		RADIO ENLACE 1000
	RADIO 400		CABLE UTP
	RADIO 400		CONEXION DE FIBRA
ELABORADO POR ALESSANDRO GONZALEZ		Ago. 2009	REV. 1
		DWG. NO. 1	SHEET 1

c) Equipamiento de las estaciones



d) Equipamiento del Core - NOC



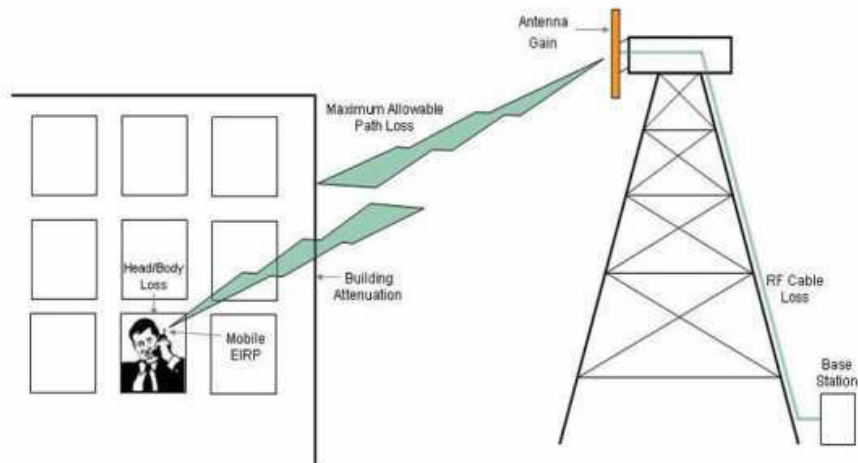
5.- Cálculo de enlaces y coberturas aproximadas

En este punto se tratarán los cálculos de los enlaces directo (Estación Base – Terminal) e inversos (Terminal – Estación Base) del sistema de acceso, para estos cálculos se tomarán como base los parámetros de los terminales portátiles dado que son los que cuentan con menores potencias así como con antenas de menor ganancia. Se debe tomar en cuenta que los terminales móviles poseen aproximadamente 5dB más que los terminales portátiles.

El cálculo de enlace tiene por como objetivo establecer las pérdidas y las ganancias que se tiene a lo largo de la vía inalámbrica de comunicación a fin de predecir la máxima pérdida de atenuación y así poder determinar aproximadamente la cobertura efectiva de cada estación.

Dentro de los parámetros generales que se toman en cuenta para realizar el cálculo de enlace tenemos:

- Ganancia de las antenas
- Potencia de transmisión
- Sensibilidad del receptor
- Pérdidas en el espacio libre
- Atenuaciones y pérdidas en los componentes



Para los presentes cálculos se utilizará el Modelo Hata, este modelo es uno de los más utilizados en los modelos de propagación de radio frecuencia para predecir el comportamiento de las transmisiones de celulares en las zonas urbanas. El modelo de Hata predice la pérdida total de ruta a lo largo del enlace. Algunas consideraciones que deben tomarse para utilizar este modelo de propagación son que la frecuencia de operación del sistema debe encontrarse entre 150MHz y 1500MHz, así mismo la antena de la estación base debe estar colocada a una altura entre 30m y 200m y la altura de la antena del terminal debe estar entre 1m y 10m. Las ecuaciones básicas del modelo son:

$$L = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_B - a(h_t) + (44.9 - 6.55 \log h_B) \log d$$

donde:

$$a(h_t) = 3.2(\log 11.75h_t)^2 - 4.97, \text{ para } f > 300\text{MHz}$$

Para utilizar las fórmulas anteriormente descritas tenemos que:

- **f** es la frecuencia de operación del sistema expresada en MHz
- **h_B** es la altura de la antena de la estación base expresada en metros
- **h_t** es la altura de la antena del terminal expresada en metros
- **d** es la distancia de la estación base al terminal expresada en kilómetros

Ahora realizando el cálculo para nuestro sistema tenemos:

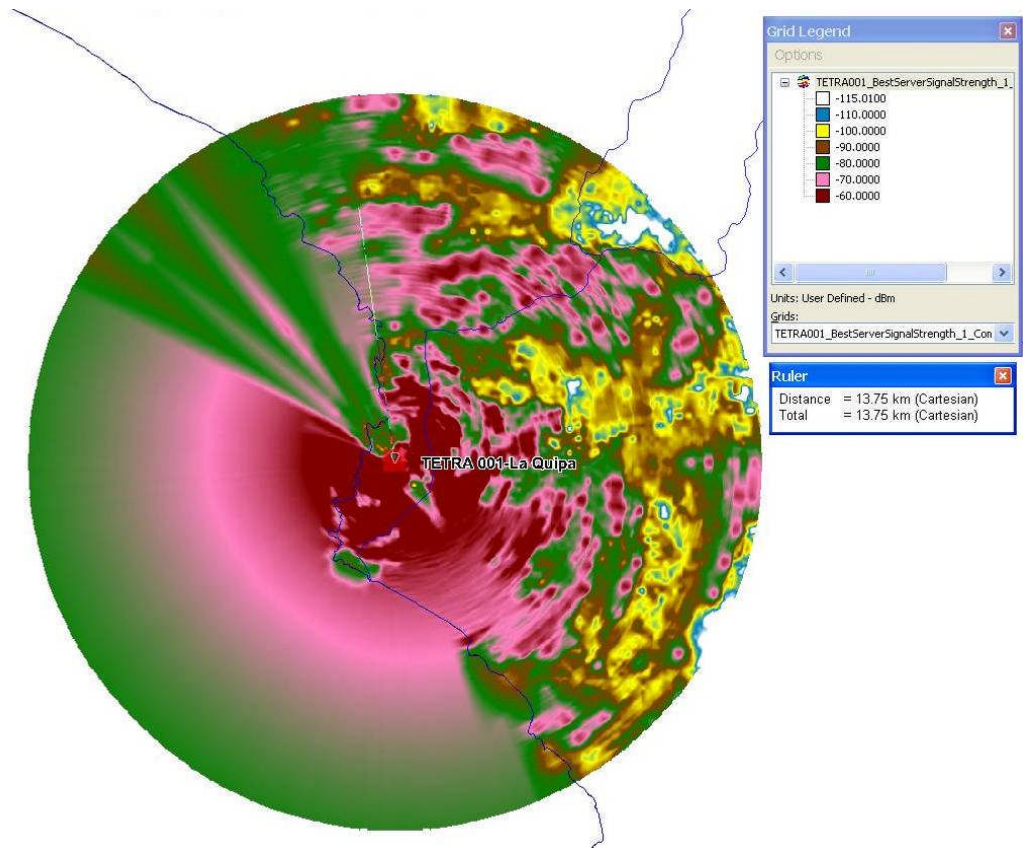
	Parámetro	Enlace Directo	Enlace Inverso	
A	Potencia del Transmisor (dBm)	40	32.55	
B	Pérdida en los cables y conectores de TX (dB)	1	0	
C	Ganancia de la Antena de TX (dB)	9	3	
D	PIRE de transmisión (dB)	48	35.55	A-B+C
E	Sensibilidad del Receptor (dBm)	-105	-121	
F	Noise Figure (dB)	1.6	2	
G	Margen Log-Normal (dB)	7	9	
H	Ganancia de la antena de RX (dB)	3	9	
I	Potencia Isótropa (dBm)	-96.4	-110	I=E+F+G
J	$20*\log f(\text{MHz})$	51.93	51.93	f = 395
K	Atenuación Compensable (dB)	147.4	154.55	K=D+H-I
L	Cobertura (Km) Aplicando el modelo de Hata	8.5	13	$h_b=40\text{m}$ $h_m= 1.5\text{m}$

Tabla 9 - Cálculo de Cobertura

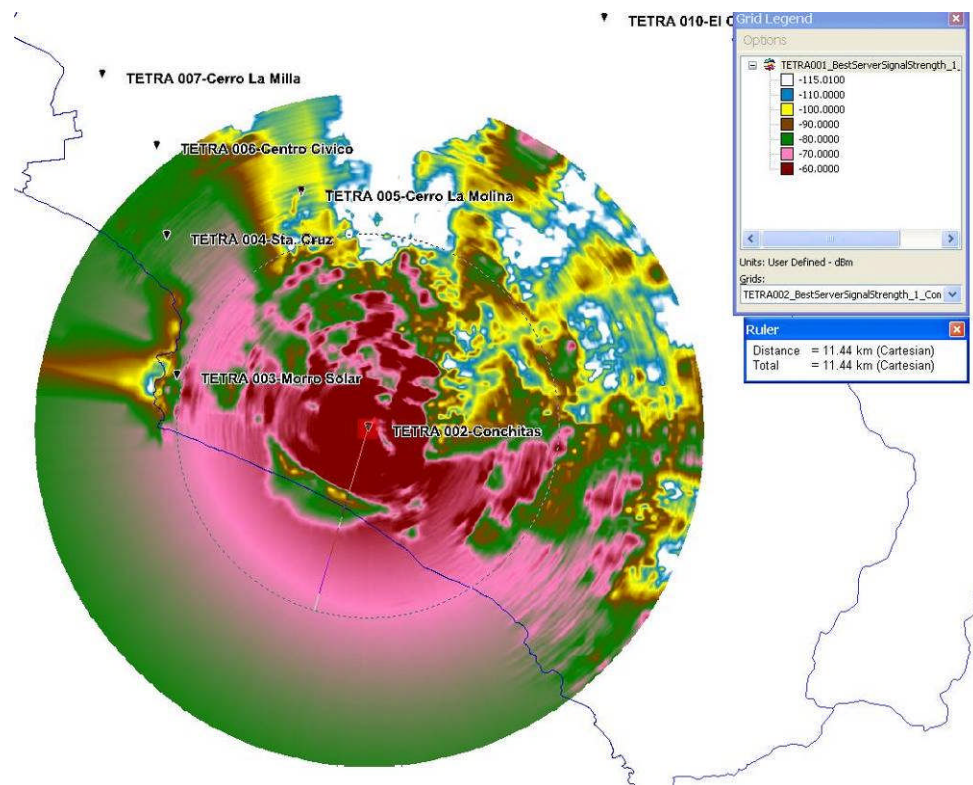
Haciendo unos de las formulas anteriormente definidas del modelo de Hata y los parámetros para nuestro sistema obtenemos que la cobertura aproximada de cada una de las estaciones es de **8.5Km**.

A fin de proveer un mayor detalle en cuanto a los cálculos de cobertura se utilizará un software de simulación de cobertura para cada una de las estaciones propuestas. Para la simulación de los cálculos de cobertura se utilizará el software de simulación Mentum Planet v5.0, a continuación se detallan las coberturas aproximadas de cada estación.

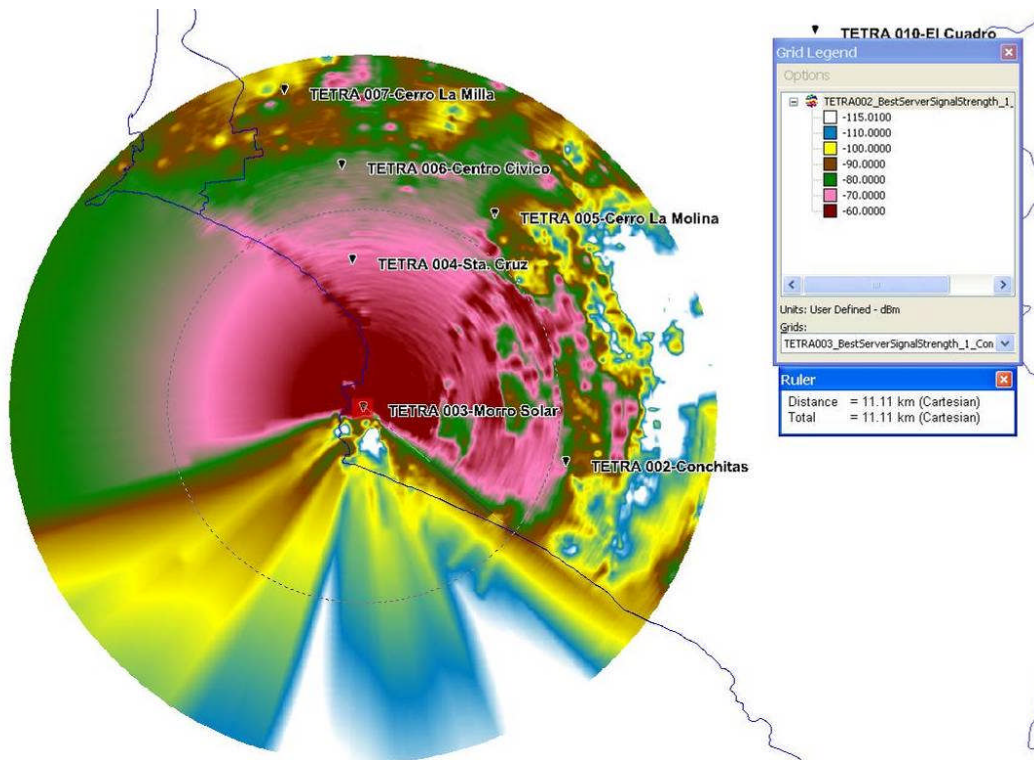
a) Estación TETRA 001 - Cerro La Quipa



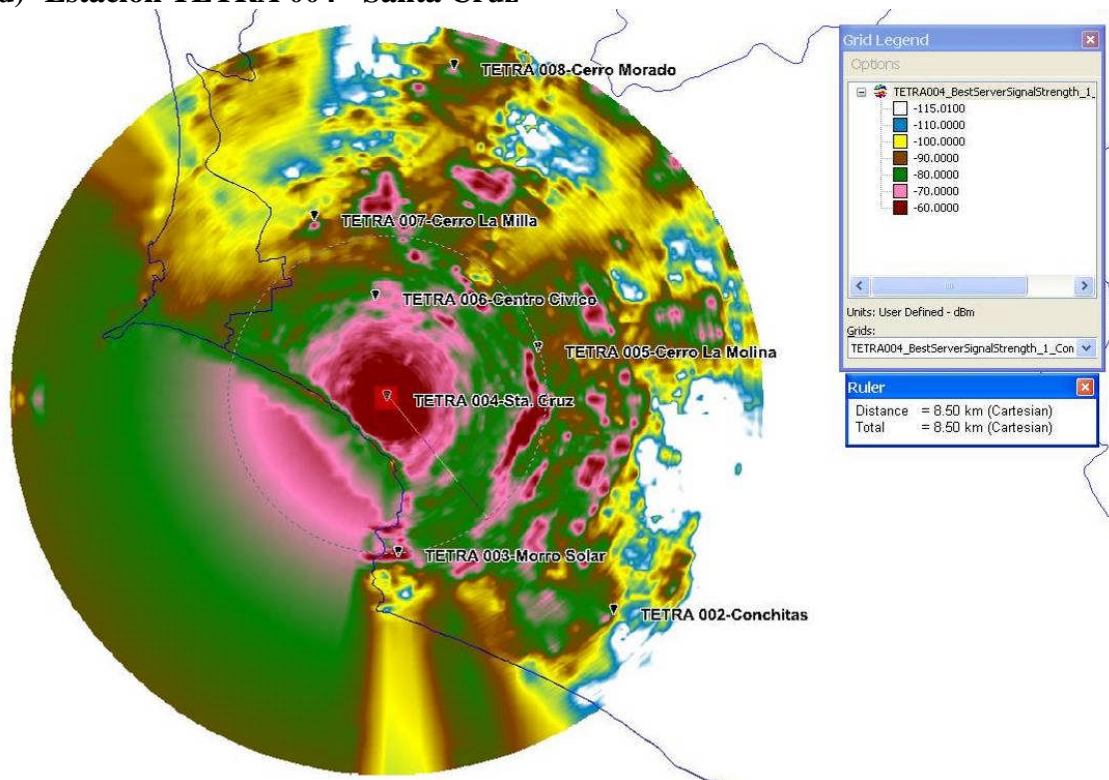
b) Estación TETRA 002 - Conchitas



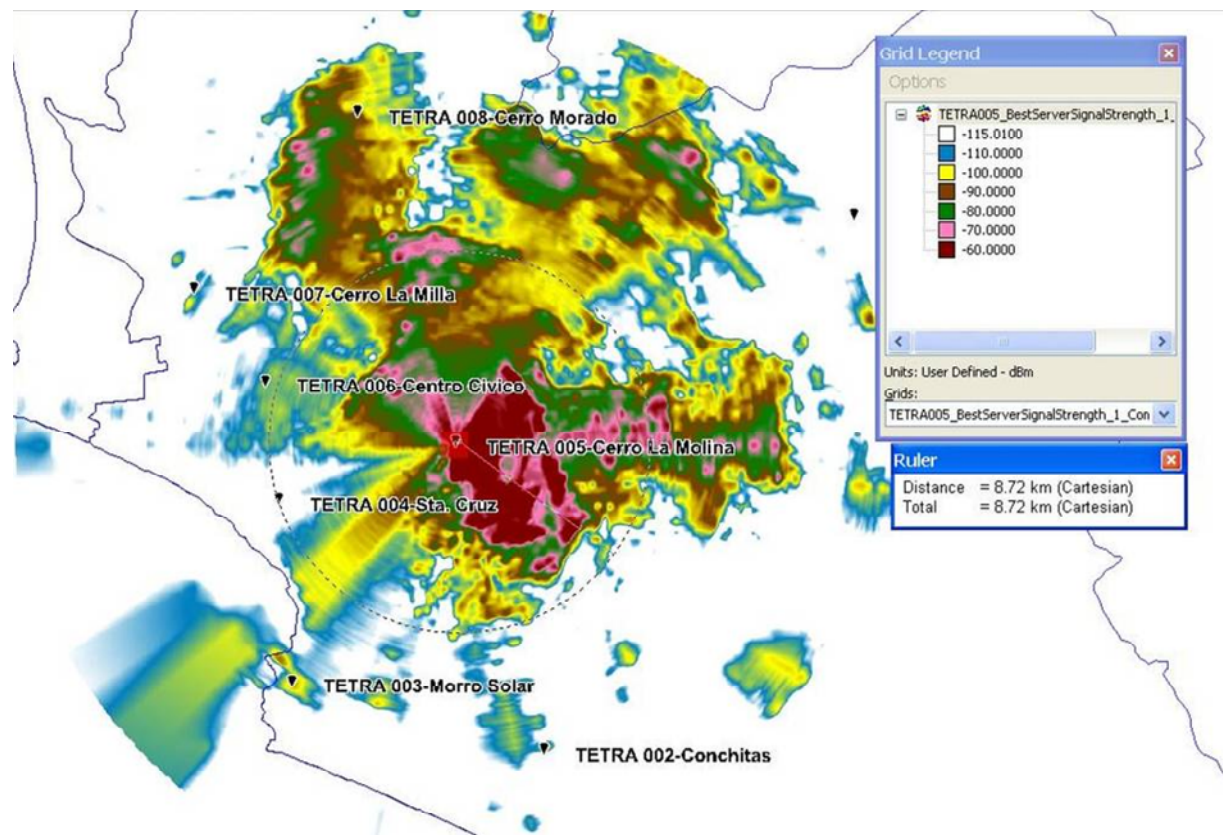
c) Estación TETRA 003 - Morro Solar



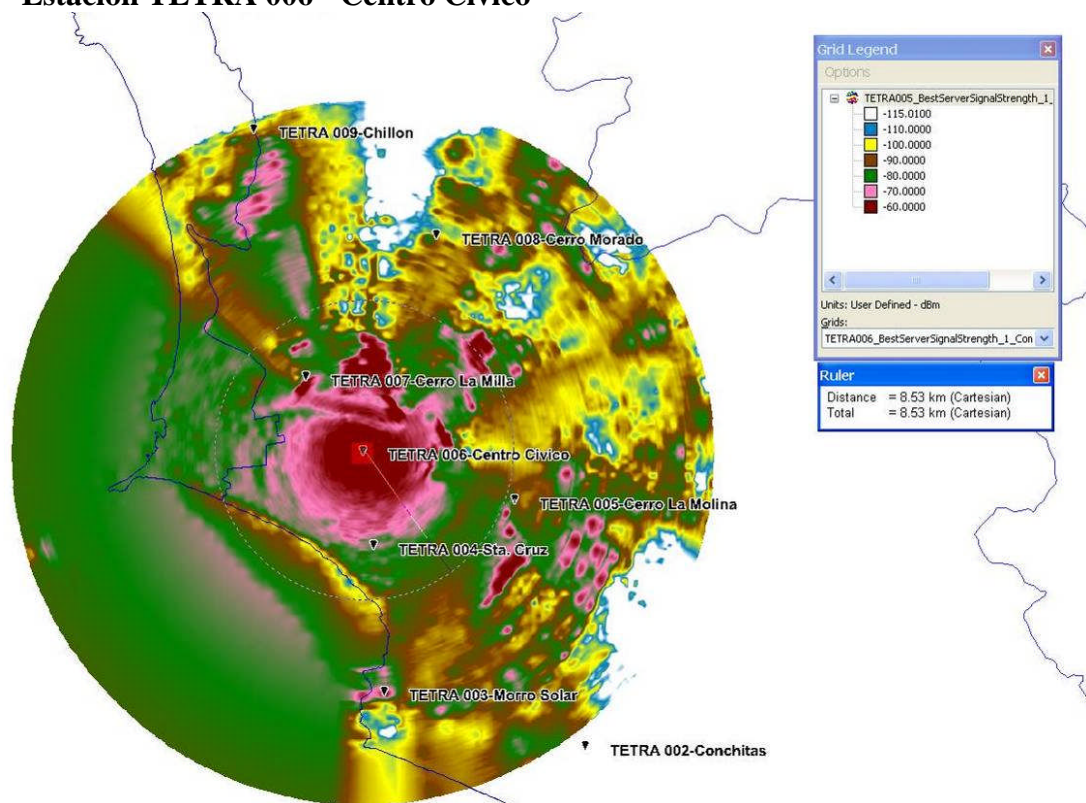
d) Estación TETRA 004 - Santa Cruz



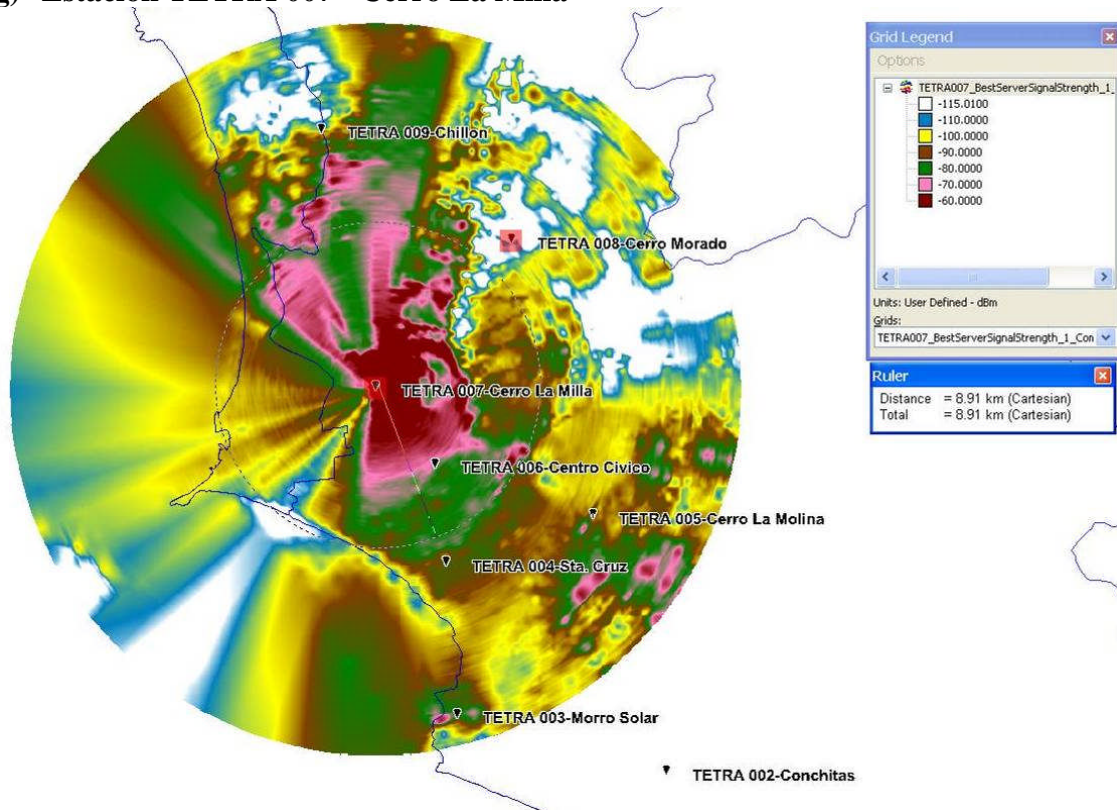
e) Estación TETRA 005 - Cerro La Molina



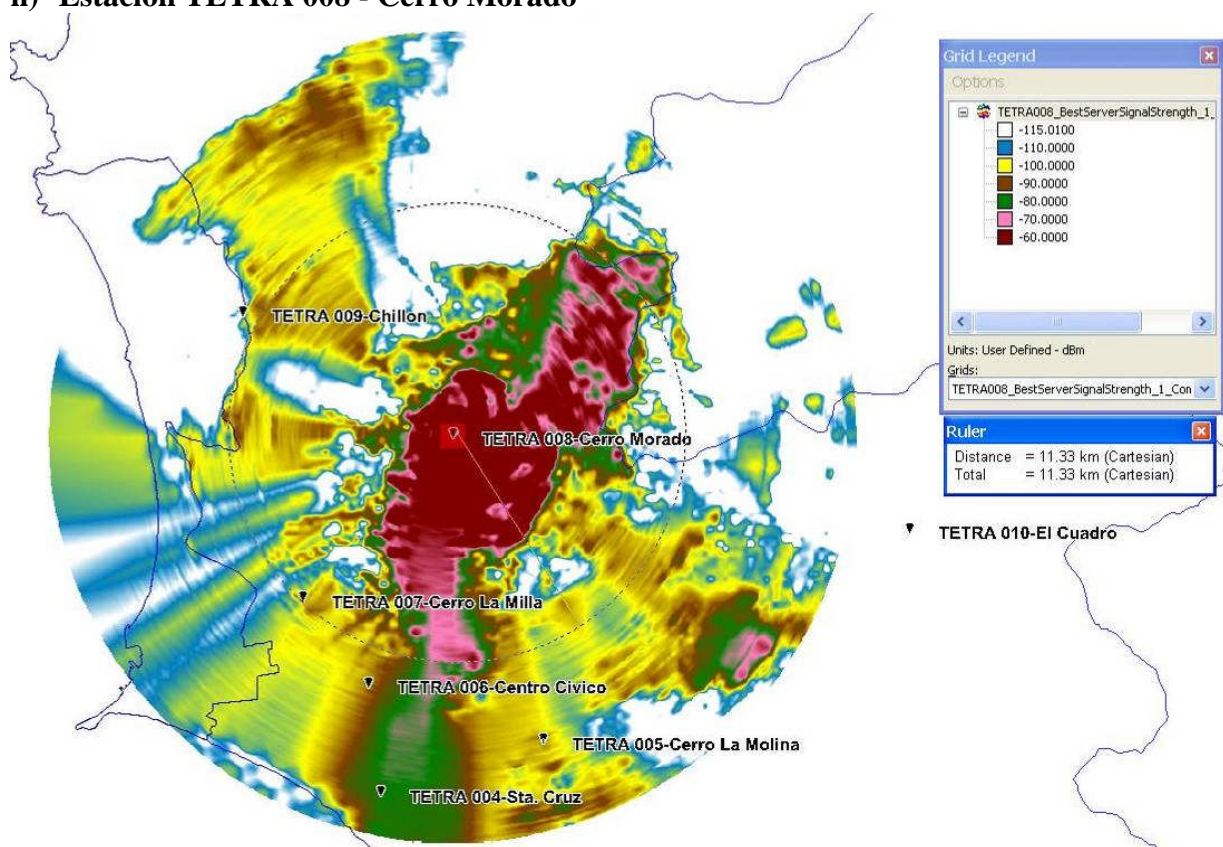
f) Estación TETRA 006 - Centro Cívico



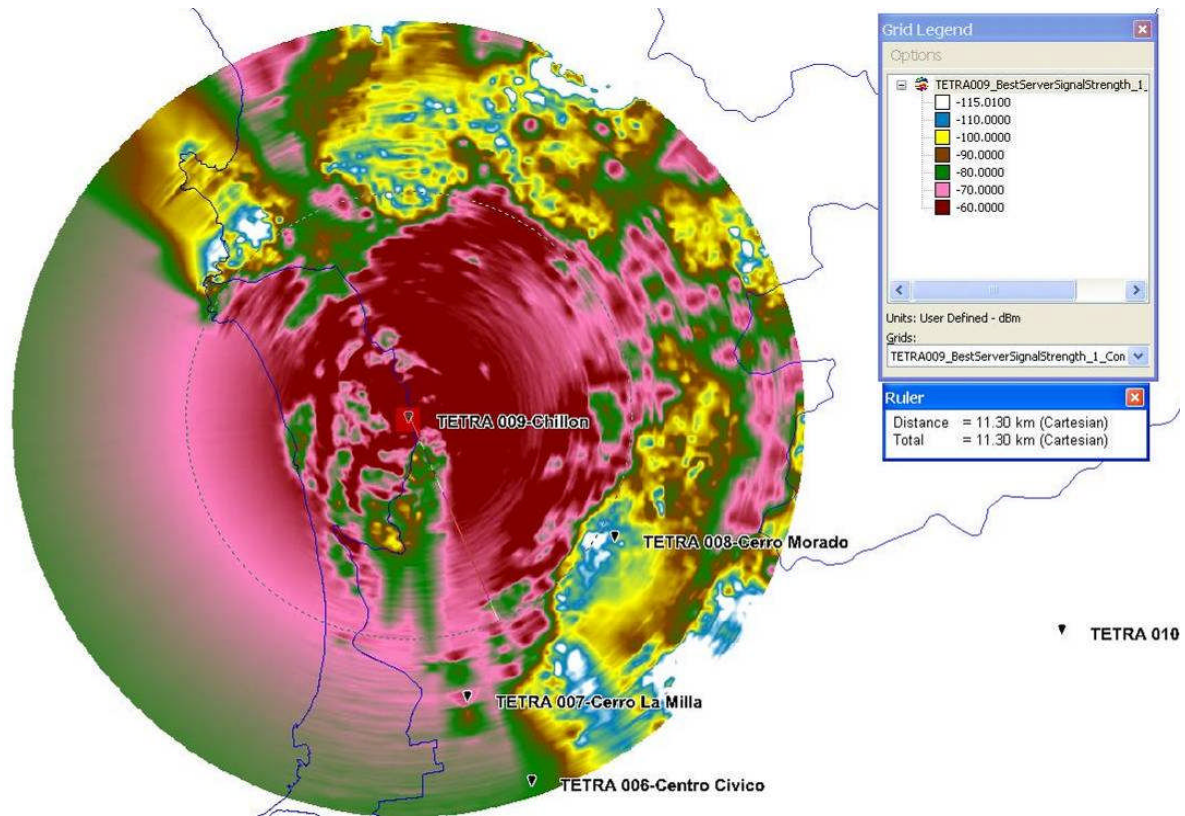
g) Estación TETRA 007 - Cerro La Milla



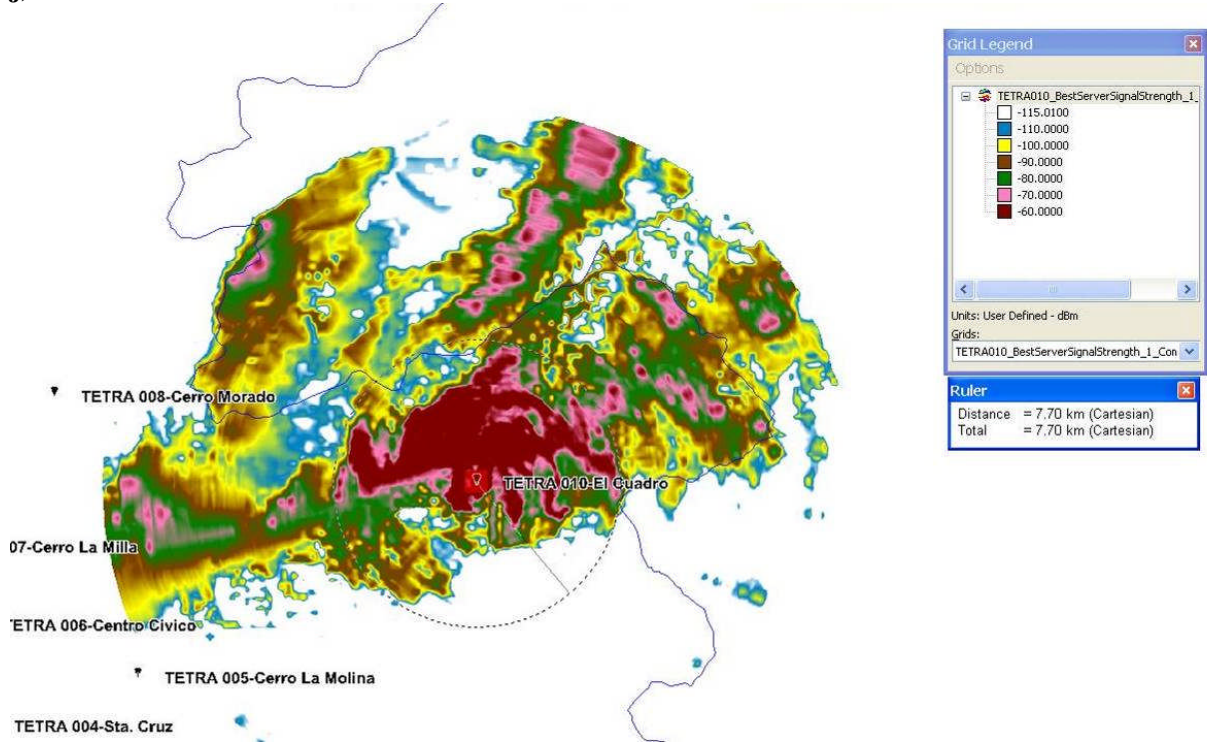
h) Estación TETRA 008 - Cerro Morado



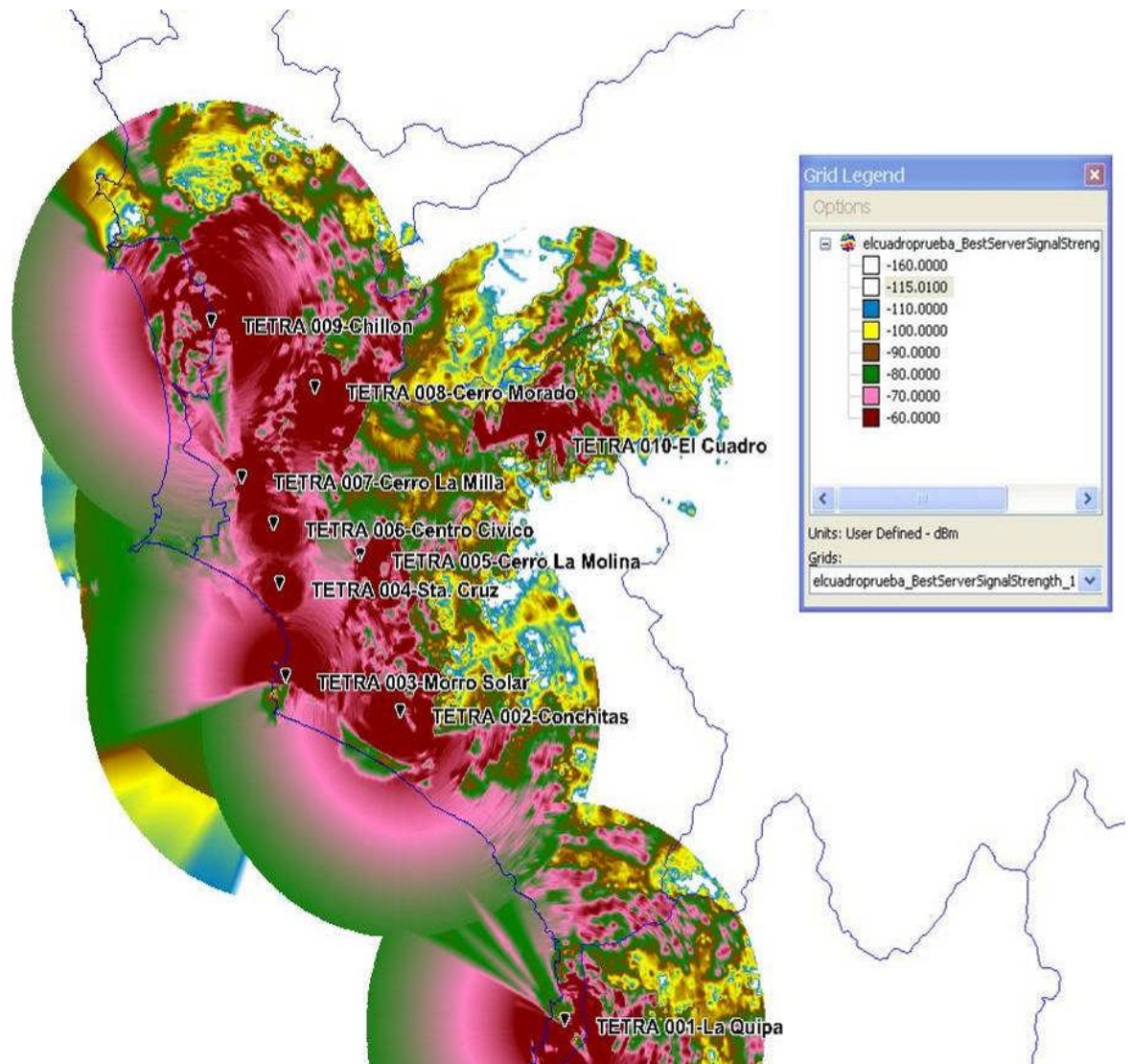
i) Estación TETRA 009 – Chillón



j) Estación TETRA 010 – El Cuadro



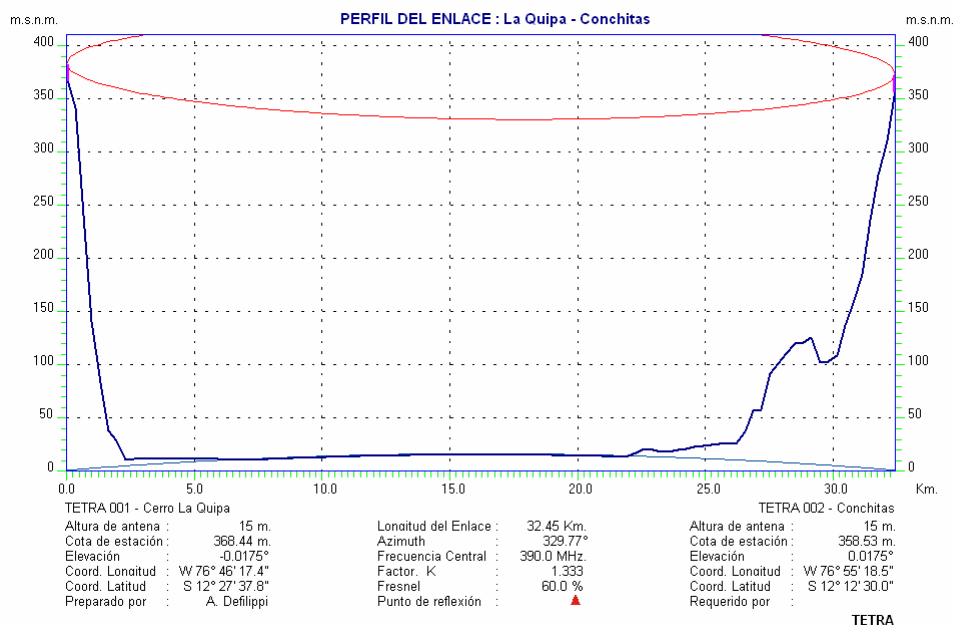
k) Red TETRA – Todas las estaciones



6.- Perfiles de los enlaces de transporte

Para la simulación de los enlaces se ha utilizado el software de simulación ACPLINK 4.0 de Solaria Microwave, a continuación se detallan los cálculos de los enlaces así como los perfiles de los enlaces.

a) Enlace La Quipa – Conchitas



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red	: TETRA		
Estación A	: Estación TETRA 001 - Cerro La Quipa		
Estación B	: Estación TETRA 002 - Conchitas		
Enlace	: La Quipa - Conchitas		
Longitud del Enlace	: 32.45 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 10
m.			
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	: QPSK
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	15 m.	15 m.
Elevación	368.44 msnm	358.53 msnm

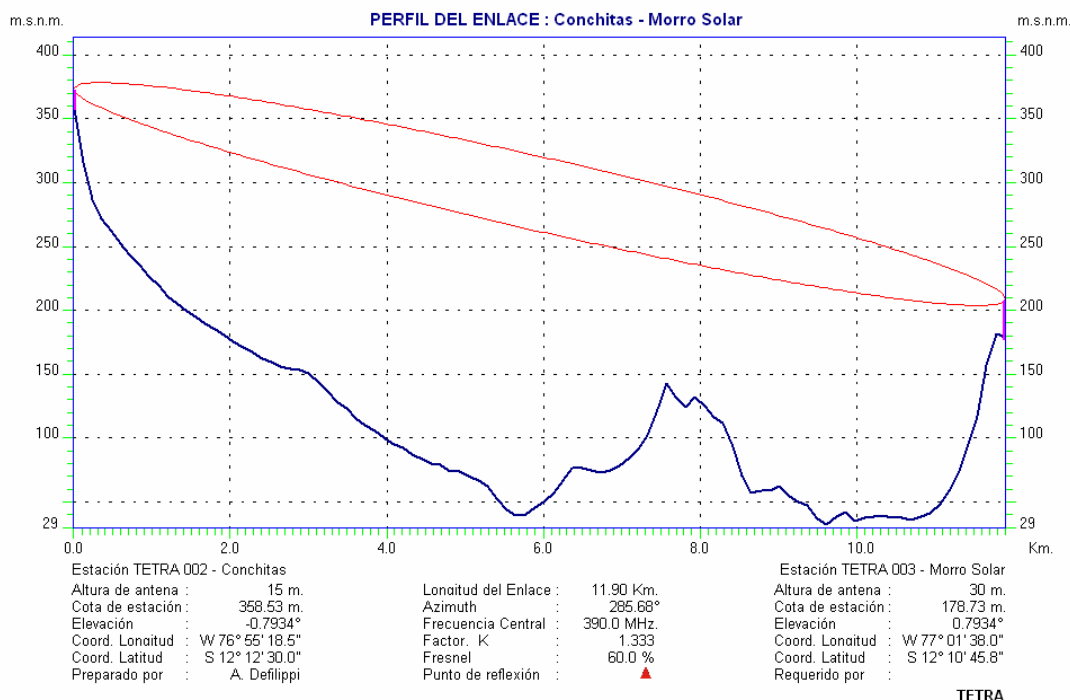
Long. Guía de Onda / C.Coaxial 15 m. 15 m.
 Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial 0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión : 21 dBm.
 Total Ganancia Antenas : 60 dB.
TOTAL GANANCIAS : 81 dB.
 Perdidas Circuitos Derivados : 0.2 dB.
 Perdidas en Espacio Libre : 114.446 dB.
 Perdidas Atmosféricas : 0.068 dB.
 Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial : 9.000 dB.
 Perdida Atenuación por Lluvia : 0 dB.
 Perdidas Adicionales : 0 dB.
TOTAL PERDIDAS : 123.713 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia : -42.713 dBm. / -42.713 dBm.
 Objetivo : 0.00070092 % / 18.17
 seg.
 Confiabilidad (BER 10⁻³) : 100.00000 %
 Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES) : 0.0000051 % / 0.13
 seg.
 Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10⁻³ : 57.28700 dB. / -100.0
 dBm.

b) Enlace Conchitas - Morro Solar



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red	: TETRA		
Estación A	: Estación TETRA 002 - Conchitas		
Estación B	: Estación TETRA 003 - Morro Solar		
Enlace	: Conchitas - Morro Solar		
Longitud del Enlace	: 11.90 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
m.			
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	: QPSK
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

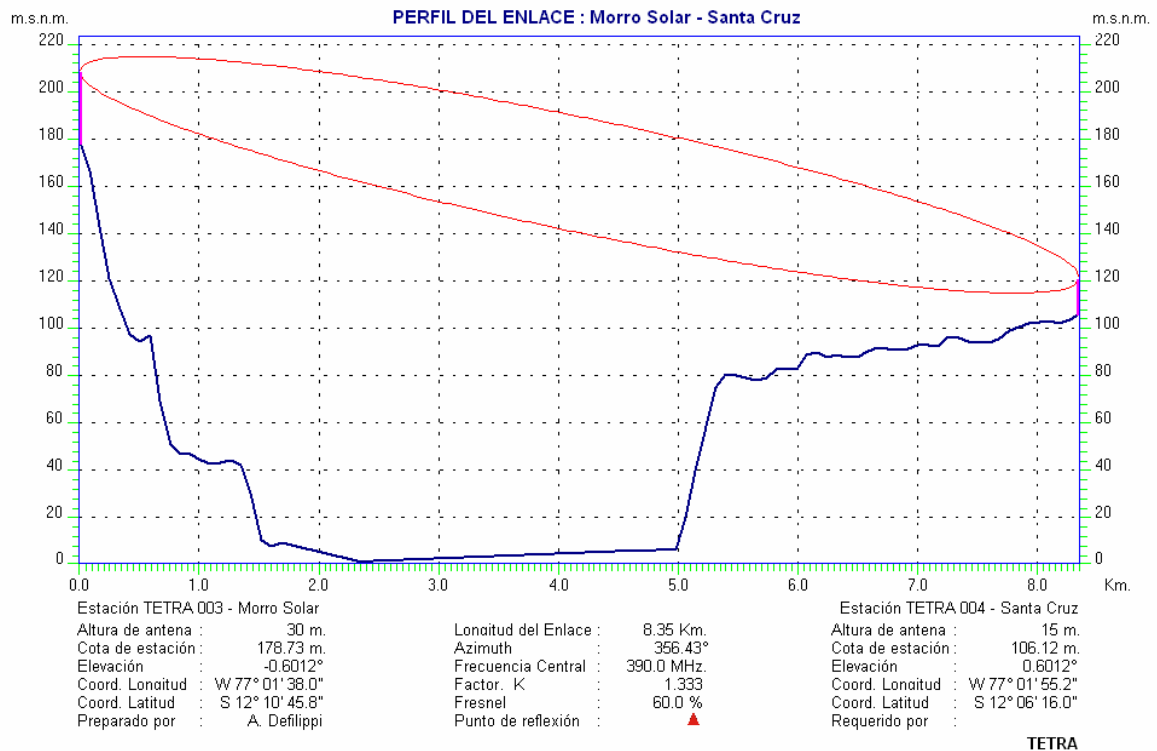
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	15 m.	30 m.
Elevación	358.53 msnm	178.73 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	15 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 105.732 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.025 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 13.500 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 119.457 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -38.457 dBm. / -38.457
Objetivo seg.	: 0.00025704 % / 6.66
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES) seg.	: 0.0000000 % / 0.00
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm.	: 61.54300 dB. / -100.0

c) Enlace Morro Solar - Santa Cruz



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red : TETRA
 Estación A : Estación TETRA 003 - Morro Solar
 Estación B : Estación TETRA 004 - Santa Cruz
 Enlace : Morro Solar - Santa Cruz

Longitud del Enlace	: 8.35 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
m.			
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	:
QPSK			
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

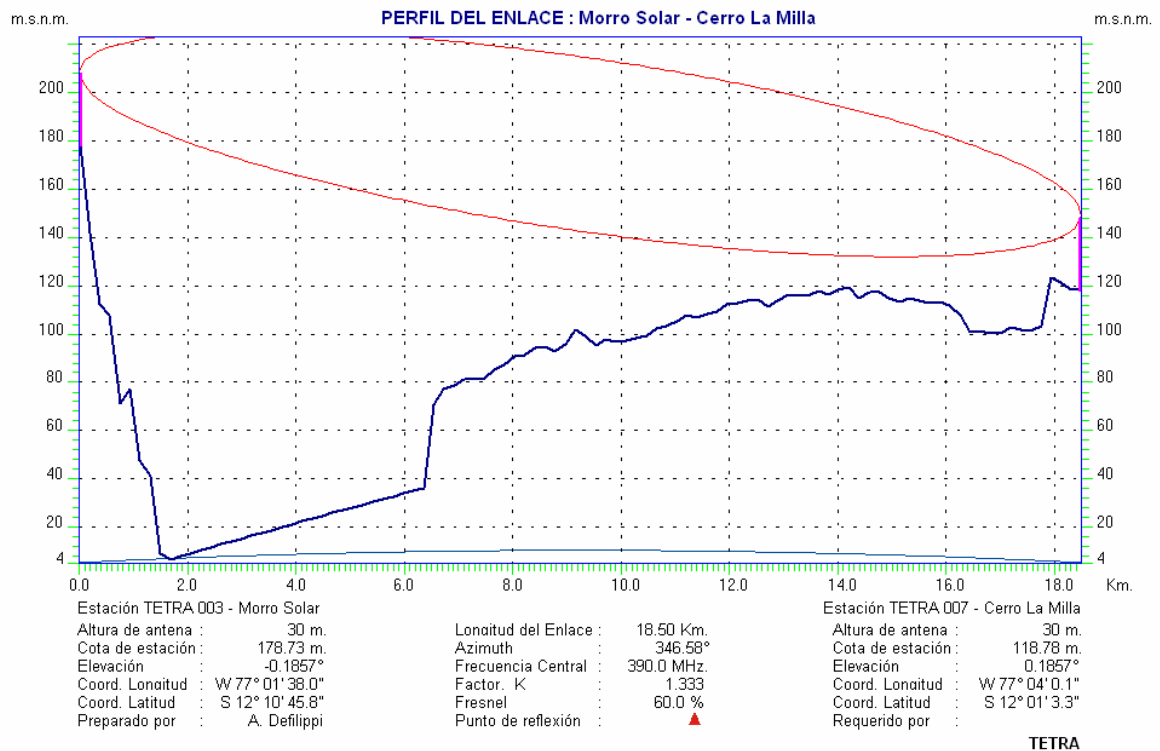
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	15 m.
Elevación	368.44 msnm	358.53 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	15 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 102.655 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.017 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 13.500 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 116.372 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -35.372 dBm. / -35.372
Objetivo seg.	: 0.00018036 % / 4.67
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000000 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm.	: 64.62800 dB. / -100.0

d) Enlace Morro Solar – Cerro La Milla



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red	: TETRA		
Estación A	: Estación TETRA 003 - Morro Solar		
Estación B	: Estación TETRA 007 - Cerro La Milla		
Enlace	: Morro Solar - Cerro La Milla		
Longitud del Enlace	: 18.50 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
	m.		
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	:
QPSK			
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

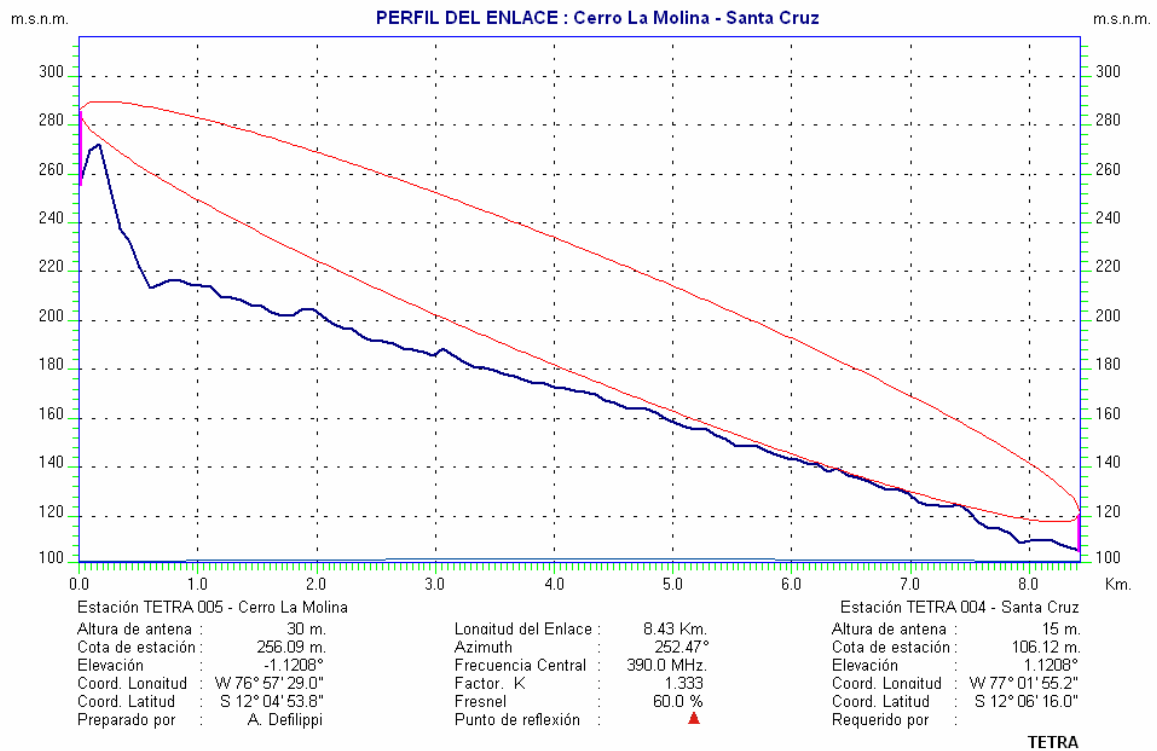
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	178.73 msnm	118.78 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	15 m.	15 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 109.565 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.039 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 9.000 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 118.803 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -37.803 dBm. / -37.803
Objetivo seg.	: 0.0003996 % / 10.36
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000000 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm	: 62.19700 dB. / -100.0

e) Enlace Cerro La Molina - Santra Cruz



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red : TETRA
 Estación A : Estación TETRA 005 - Cerro La Molina
 Estación B : Estación TETRA 004 - Santa Cruz
 Enlace : Cerro La Molina - Santa Cruz

Longitud del Enlace	: 8.43 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
m.			
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	:
QPSK			
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

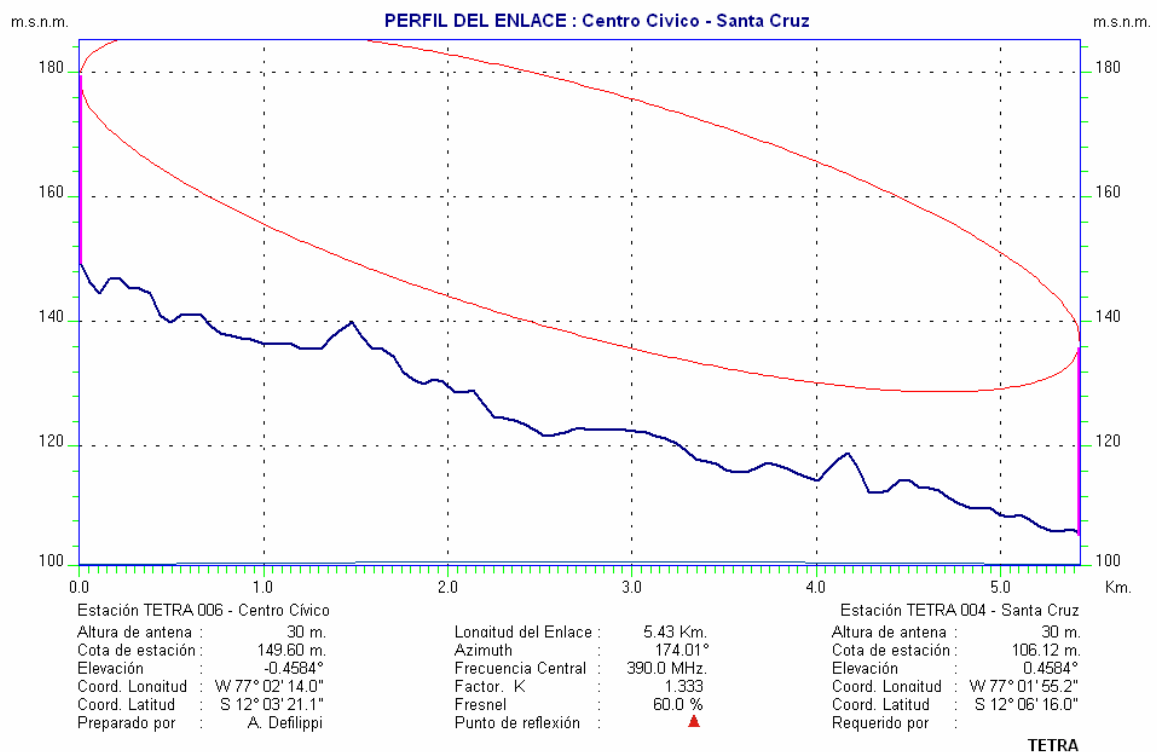
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	15 m.
Elevación	256.09 msnm	106.12 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	15 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 102.738 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.018 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 13.500 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 116.455 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -35.455 dBm. / -35.455
Objetivo seg.	: 0.00018209 % / 4.72
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000000 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm	: 64.54500 dB. / -100.0

f) Enlace Centro Cívico - Santa Cruz



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red : TETRA
 Estación A : Estación TETRA 006 - Centro Cívico
 Estación B : Estación TETRA 004 - Santa Cruz
 Enlace : Centro Civico - Santa Cruz

Longitud del Enlace : 8.43 Km. Intensidad de Lluvia : -
 Frecuencia : 390 MHz. Polarización : H
 Pot. de Transmisión : 21 dBm. Rugosidad : 42
 m.
 Capacidad : 16E1 Mbps Modulación :
 QPSK
 Configuración : 1+1 Identificación del Enlace : -

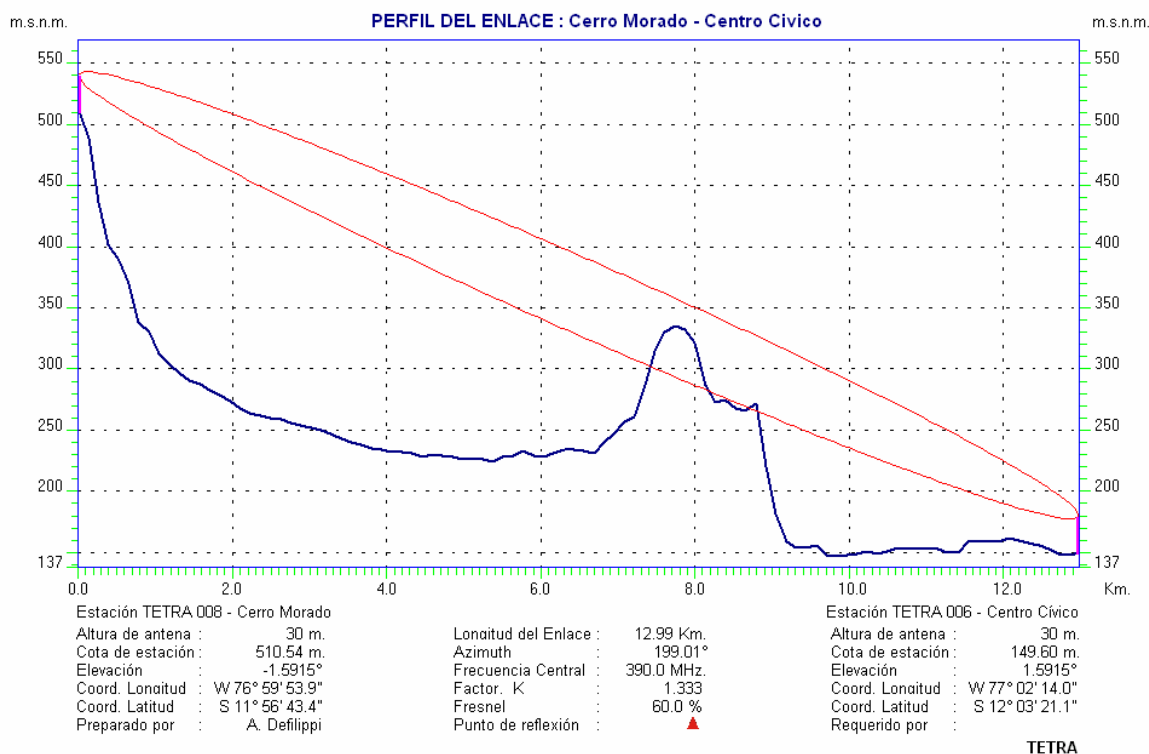
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	149.60 msnm	106.12 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión : 21 dBm.
 Total Ganancia Antenas : 60 dB.
TOTAL GANANCIAS : 81 dB.
 Perdidas Circuitos Derivados : 0.2 dB.
 Perdidas en Espacio Libre : 102.738 dB.
 Perdidas Atmosféricas : 0.018 dB.
 Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial : 18.000 dB.
 Perdida Atenuación por Lluvia : 0 dB.
 Perdidas Adicionales : 0 dB.
TOTAL PERDIDAS : 120.955 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia : -39.955 dBm. / -39.955 dBm.
 Objetivo : 0.00018209 % / 4.72 seg.
 Confiabilidad (BER 10⁻³) : 100.00000 %
 Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES) : 0.0000000 % / 0.00 seg.
 Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10⁻³ dBm : 60.04500 dB. / -100.0 dBm

g) Enlace Cerro Morado – Centro Cívico



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red : TETRA
 Estación A : Estación TETRA 008 - Cerro Morado
 Estación B : Estación TETRA 006 - Centro Cívico
 Enlace : Cerro Morado - Centro Cívico

Longitud del Enlace	: 12.99 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: H
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
m.			
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	:
QPSK			
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

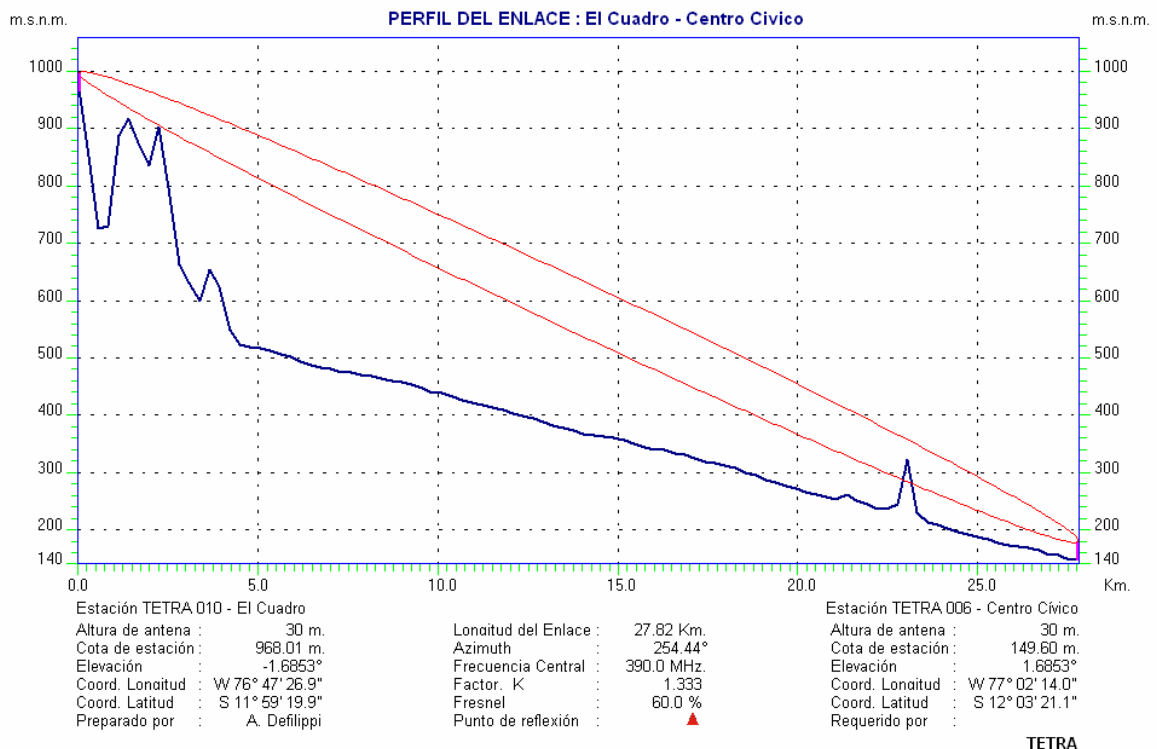
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	510.54 msnm	149.60 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 106.493 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.027 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 18.000 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 124.721 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -43.721 dBm. / -43.721
Objetivo seg.	: 0.00028058 % / 7.27
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000001 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm.	: 56.27900 dB. / -100.0

h) Enlace El Cuadro – Centro Cívico



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red	: TETRA		
Estación A	: Estación TETRA 010 - El Cuadro		
Estación B	: Estación TETRA 006 - Centro Cívico		
Enlace	: El Cuadro - Centro Civico		
Longitud del Enlace	: 27.82 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
	m.		
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	:
QPSK			
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

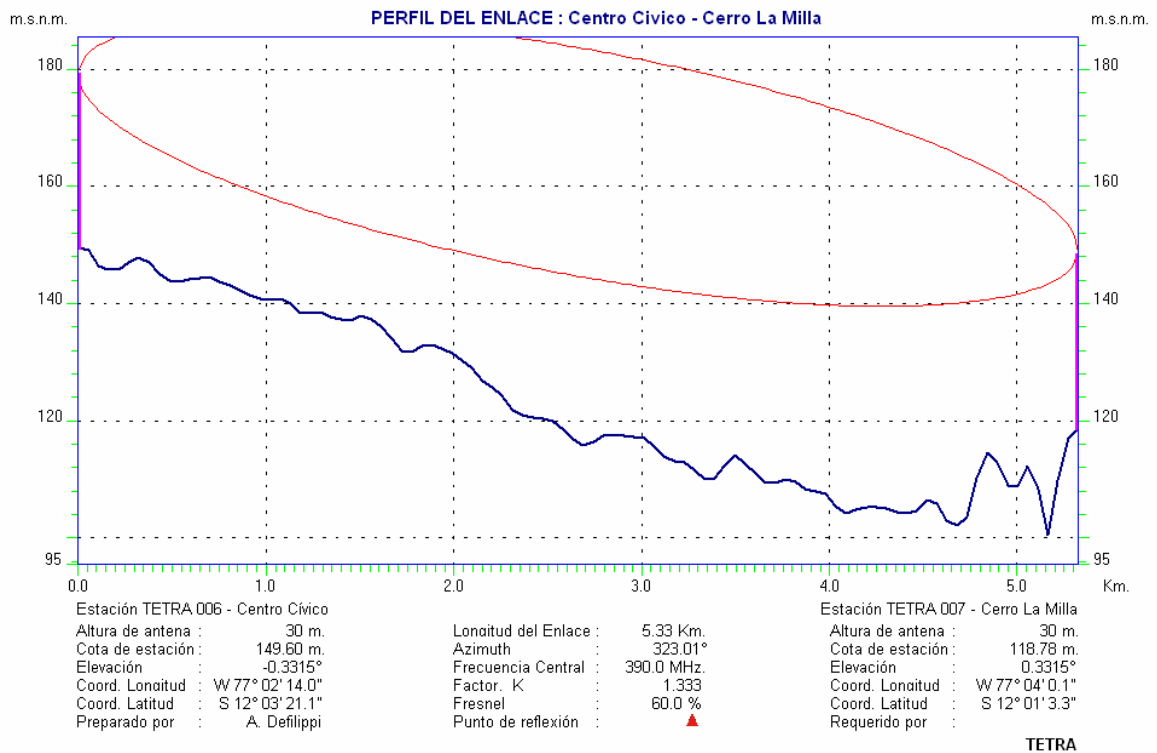
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	968.01 msnm	149.60 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 113.108 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.058 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 18.000 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 131.367 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -50.367 dBm. / -50.367
Objetivo seg.	: 0.00060091 % / 15.58
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000029 % / 0.08 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm.	: 49.63300 dB. / -100.0

i) Enlace Centro Cívico – Cerro La Milla



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red : TETRA
 Estación A : Estación TETRA 006 - Centro Cívico
 Estación B : Estación TETRA 007 - Cerro La Milla
 Enlace : Centro Cívico - Cerro La Milla

Longitud del Enlace	: 5.33 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: H
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
m.			
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	: QPSK
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	149.60 msnm	118.78 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

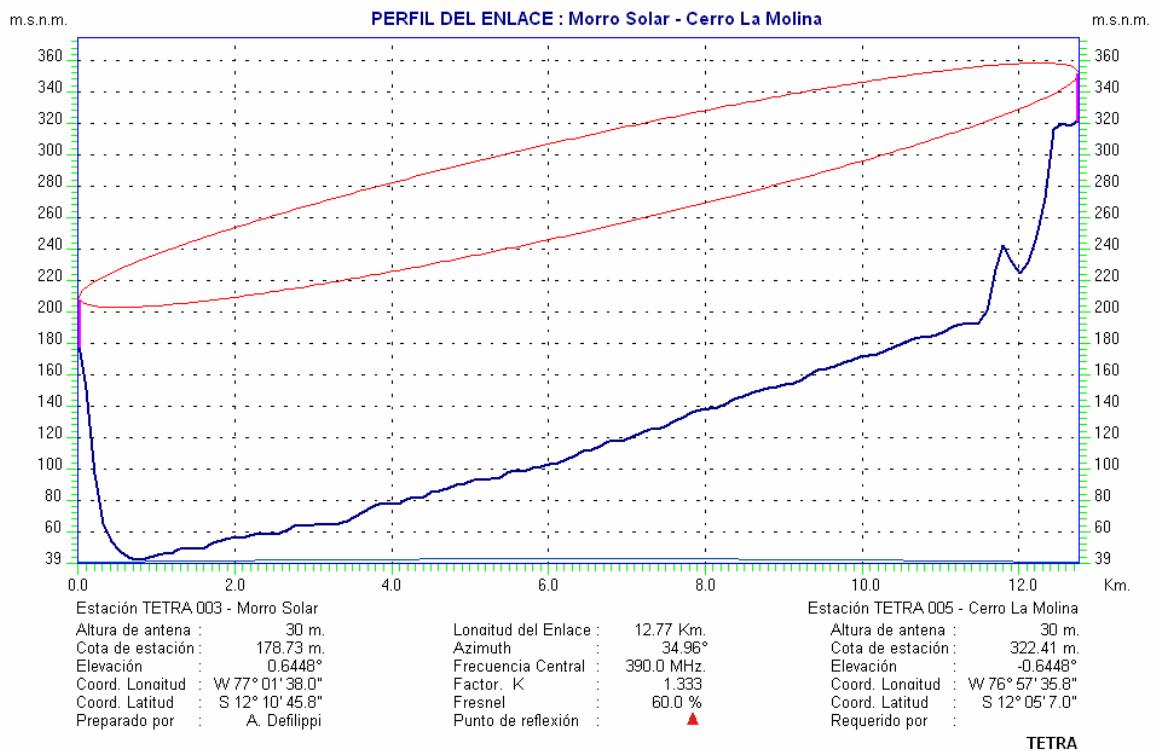
Potencia de Transmisión : 21 dBm.

Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 98.756 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.011 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 18.000 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 116.967 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -35.967 dBm. / -35.967
Objetivo seg.	: 0.00011513 % / 2.98
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000000 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³	: 64.03300 dB. / -100.0 dBm.

j) Enlace Morro Solar – Cerro La Molina



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red	: TETRA		
Estación A	: Estación TETRA 003 - Morro Solar		
Estación B	: Estación TETRA 005 - Cerro La Molina		
Enlace	: Morro Solar - Cerro La Molina		
Longitud del Enlace	: 12.77 Km.	Intensidad de Lluvia	: -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización	: V
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad	: 42
	m.		
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación	:
QPSK			
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace	: -

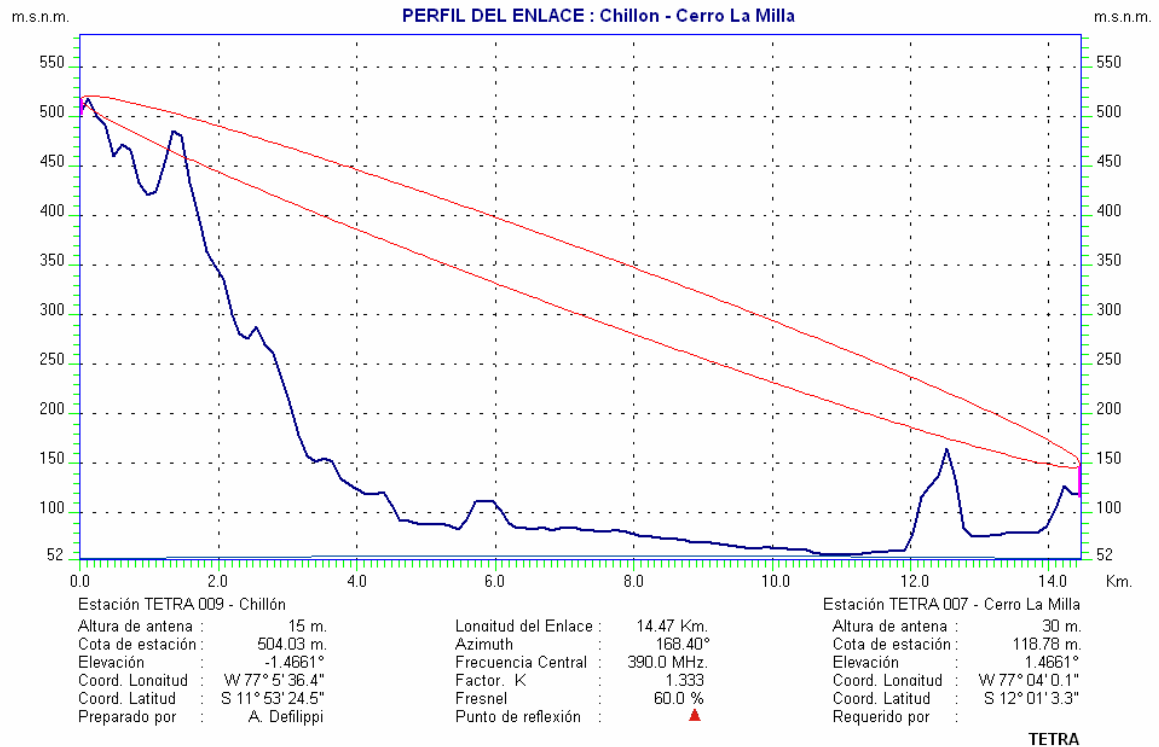
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	178.73 msnm	322.41 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	30 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 106.345 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.027 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 18.000 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 124.572 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -43.572 dBm. / -43.572
Objetivo seg.	: 0.00027583 % / 7.15
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000001 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm.	: 56.42800 dB. / -100.0

k) Enlace Chillón - La Milla



INFORME DEL ANALISIS DEL ENLACE

Datos de la Red, Trayecto y Sistema.

Nombre Red	: TETRA	
Estación A	: Estación TETRA 009 - Chillón	
Estación B	: Estación TETRA 007 - Cerro La Milla	
Enlace	: Chillón - Cerro La Milla	
Longitud del Enlace	: 14.47 Km.	Intensidad de Lluvia : -
Frecuencia	: 390 MHz.	Polarización : H
Pot. de Transmisión	: 21 dBm.	Rugosidad : 42
		m.
Capacidad	: 16E1 Mbps	Modulación :
		QPSK
Configuración	: 1+1	Identificación del Enlace : -

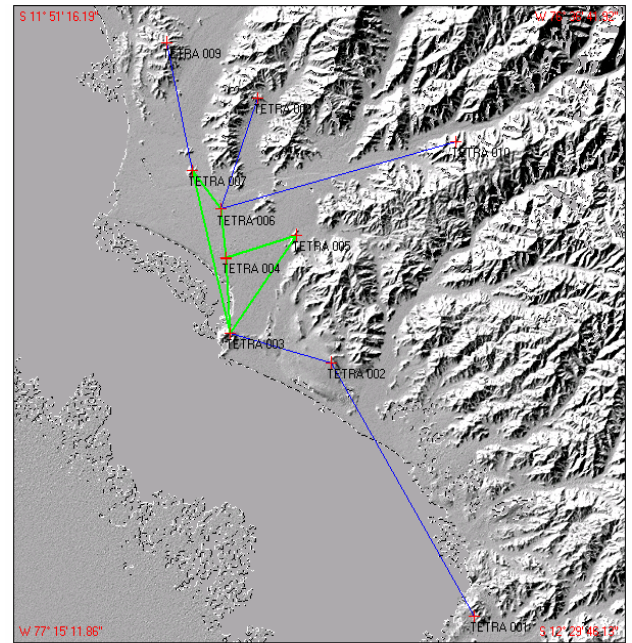
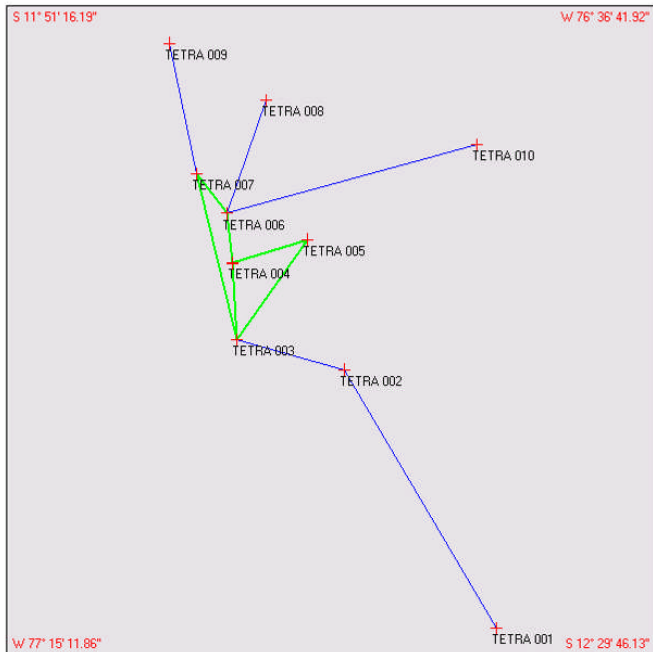
	<u>Estación A</u>	<u>Estación B</u>
Tipo de Antena	---	---
Diámetro	---	---
Ganancia	30 dBi.	30 dBi.
Altura de Antena	30 m.	30 m.
Elevación	504.03 msnm	118.78 msnm
Long. Guía de Onda / C.Coaxial	15 m.	30 m.
Atenuación p/m. de Guía de Onda / Cable Coaxial		0.3 dB/m.

Potencia de Transmisión	: 21 dBm.
Total Ganancia Antenas	: 60 dB.
TOTAL GANANCIAS	: 81 dB.
Perdidas Circuitos Derivados	: 0.2 dB.
Perdidas en Espacio Libre	: 107.431 dB.
Perdidas Atmosféricas	: 0.03 dB.
Perdidas en Guia de Onda / C. Coaxial	: 13.500 dB.
Perdida Atenuación por Lluvia	: 0 dB.
Perdidas Adicionales	: 0 dB.
TOTAL PERDIDAS	: 121.161 dB.

Indisponibilidad

Potencia de recepción sin lluvia / con lluvia dBm.	: -40.161 dBm. / -40.161
Objetivo seg.	: 0.00031255 % / 8.10
Confiabilidad (BER 10 ⁻³)	: 100.00000 %
Indisponibilidad (SESR) % / seg.peor mes (SES)	: 0.0000000 % / 0.00 seg.
Margen de desvanecimiento / Nivel Umbral 10 ⁻³ dBm.	: 59.83900 dB. / -100.0

d) Enlace entre estaciones



m) Sobre los cálculos de indisponibilidad

Los valores sobre indisponibilidad mostrados anteriormente corresponden a cálculos realizados considerando exclusivamente los parámetros de cada una de las conexiones y no de los trayectos; de igual forma el valor indicado en cada uno de los casos no esta relacionado a la indisponibilidad propia del equipamiento.

Los indicadores utilizados para los cálculos son **Segundo con Muchos Errores (SES- Severly Errored Second)** así como con la **Tasa de Segundos con Muchos Errores (SESR – Several Errored Second Ratio)**.

De acuerdo a la recomendación G.826 de la UIT el SES está definido como: “Intervalo de un segundo en que la tasa de errores en los bits (*BER*, bit error ratio) es $\geq 1 \cdot 10^{-3}$ o durante el cual se detecta una pérdida de señal (*LOS*), o una señal de indicación de alarma (*AIS*).” El SERS se define como “La relación entre SES y el total de segundos de tiempo de disponibilidad durante un intervalo de medición fijo”.

$$SESR = \frac{SES}{Total_de_Segundos} \dots\dots\dots(6.1)$$

De acuerdo a la mencionada recomendación el valor del SESR para conexiones con velocidades mayores a 64Kbps no debe exceder el valor de 0.002.

El valor de indisponibilidad calculado en los enlaces mostrados se ha realizado de la siguiente manera:

Se calcula la indisponibilidad producida por el desvanecimiento plano

$$P_{ip} (\%) = 100 * P_0 10^{-M/10} \dots\dots\dots(6.2)$$

$$P_0 = K * Q * f * d^3 \dots\dots\dots(6.3)$$

Donde K es el factor climático, Q es el factor de rigurosidad del terreno, f es la frecuencia (Ghz) y de la distancia del enlace (Km).

Luego se calcula la indisponibilidad producida por el desvanecimiento selectivo

$$P_{ts} (\%) = 100 * n * 4.32 * k * \left(\frac{t_m}{T_s} \right)^2 \dots\dots\dots(6.4)$$

Donde n es la probabilidad de desvanecimiento multitrayecto, T_s es el período de símbolo, t_m es el retardo medio y k el factor de signatura no ecualizada dependiente de la modulación utilizada. Luego de sumar los resultados obtenidos en (6.2) y (6.4) obtenemos la disponibilidad de un determinado enlace.

$$P = P_{tp} + P_{ts} \dots\dots\dots(6.5)$$

7.- Análisis de Tráfico

Para realizar los el análisis de tráfico de la presente red y a fin que el sistema troncalizado funcione eficientemente, se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

- a) Un usuario dado (terminal) sólo requerirá el servicio de un canal de voz (tráfico) por cortos períodos de tiempo (comunicaciones de corta duración)
- b) La probabilidad de que todos de los usuarios (terminales) requieran el uso del canal de voz al mismo tiempo debe ser muy baja.
- c) Los usuarios del presente sistema estarán agrupados de tal forma que se tenga la menor cantidad de grupos (a fin cumplir con la condición anterior), de estar forma cada grupo se comportará como un **usuario efectivo** de los recursos de la red.
- d) La comunicación telefonía convencional (full duplex) solo será permitida para un reducido número de usuarios
- e) Si bien el sistema tendrá la posibilidad de asignar una prioridad de acceso a la red a cada grupo, bajo el presente diseño todos los grupos tendrán la misma prioridad por lo que si todos los canales de la red están ocupados en un momento dado, un grupo adicional no podrá interrumpir ninguna comunicación en curso.
- f) El número de usuarios dentro de cada grupo dependerá de cada organismo pero a efectos del análisis de tráfico no será considerado dado que es irrelevante.

Dado que la red estará diseñada para aplicaciones de seguridad y comunicaciones en caso de emergencia, se considerarán los siguientes organismos que utilizarían la presente red:

- Policía Nacional
- Policía Municipal y Serenazgos
- Bomberos
- Defensa Civil
- Fuerzas Armadas
- Altos Funcionarios Gubernamentales

Como se ha indicado anteriormente el sistema estará compuesto por 10 estaciones que brindaran cobertura a las provincias de Lima y Callao. Para realizar el siguiente estudio de tráfico se tendrá en cuenta el número de grupos de usuarios del sistema para las llamadas de radio (half duplex) y un número reducido de usuarios con permisos de llamadas de telefonía convencional (full duplex) dado que al realizar una llamada de grupo, todos los usuarios involucrados en el grupo utilizan un solo canal de voz mientras que al hacer una llamada de telefonía cada comunicación utiliza dos canales de voz. El número de grupos que manejará el sistema se detalla a continuación:

Organismo	Grupos	Total de Grupos
Policía Nacional	Se utilizará un grupo por cada distrito y adicionalmente 3 grupos mas	$(49) + (3) = (52)$
Policía Municipal y Serenazgos	Se utilizará un grupo por cada distrito y adicionalmente 3 grupos mas	$(49) + (3) = (52)$
Bomberos	Se utilizará un grupo por cada distrito y 1 grupo adicional	$(49) + (1) = (50)$
Defensa Civil	Se utilizarán 3 grupos	(3)
Fuerzas Armadas	Se utilizarán 3 grupos por cada FFAA	$(3) \times (3) = (9)$
Altos Funcionarios Gubernamentales	Se utilizarán 10 grupos para este rubro	(10)

TOTAL DE GRUPOS = (176)

El número de usuarios autorizados a realizar llamadas de telefonía convencional será de 10 usuarios por organismo.

Ahora realizando el análisis de tráfico tendremos:

Número de distritos en las provincias de Lima y Callao	49	
Número total de grupos (usuarios efectivos) en la red	176	a
Número de estaciones en la red	10	b
Cantidad promedio de grupos por estación	17.6	$c = a/b$
Cantidad de usuarios con permisos para realizar llamada de telefonía convencional (full duplex)	60	d
Duración promedio de la llamada de radio (half duplex) (segundos)	7.35	e
Duración promedio de la llamada de telefonía (full duplex) (segundos)	16.95	f
Cantidad de llamadas por cada grupo por estación	20.56	g
Cantidad de llamadas por usuario de telefonía por estación	1.96	h
Tráfico ofrecido en las comunicaciones de radio por estación (Erlang)	0.74	$i = ((c) \times (e) \times (g)) / 3600$
Tráfico ofrecido en las comunicaciones de telefonía por estación (Erlang)	0.56	$j = ((d) \times (f) \times (h)) / 3600$
Probabilidad de demora para las comunicaciones de radio	0.05	k
Porcentaje de bloqueo para las comunicaciones de telefonía	0.02	l
Cantidad de canales necesarios para comunicaciones de radio por estación	3	$m = \text{Tabla Erlang C}^{28}$ utilizando (i), (k)
Cantidad de canales necesarios para comunicaciones de telefonía por estación	3	$n = \text{Tabla Erlang B}^{29}$ utilizando (j), (l)
Cantidad total de canales por estación	6	$o = (m) + (n)$

Tabla 10 - Análisis de Tráfico

²⁸ Se utilizará la tabla de Erlang C para hallar el número de canales necesario para las comunicaciones de radio, ya que de acuerdo a la configuración del sistema éstas entrarán a una cola de espera para no perder el tráfico generado.

²⁹ Se utilizará la tabla de Erlang B para hallar el número de canales necesarios para las comunicaciones de telefonía ya que el servicio principal de la red es la comunicación de radio.

Del estándar TETRA tenemos que al ser una tecnología TDMA se pueden tener las siguientes configuraciones

- 1 portadora = 1 canal de control + 3 canales de tráfico
- 2 portadoras = 1 canal de control + 7 canales de tráfico.

De los cálculos realizados anteriormente tenemos que serán necesarias 2 portadoras (TRX) en cada estación. Teniendo de esta forma un canal adicional a los necesarios en cada una de las estaciones a fin de soportar un aumento de tráfico.

8.- Detalle del equipamiento a utilizar

A continuación se detallará el equipamiento con el que deberá contar cada una de las estaciones así como el Centro de Operaciones de Red (NOC) del sistema

- **Estación TETRA 001 - Cerro La Quipa**
 - 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)
Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.
 - 01 Controladora BSC/BCU
Marca: DAMM
 - 02 Antenas Omnidireccionales UHF
Marca: Kathrein
 - 01 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB
Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY
 - 01 Antena de Microondas
Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W
 - 01 Switch de Interconexión
Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
 - 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías
Marca: APC, Modelo: Symmetra
 - 01 Torre Ventada de 15m de altura
- **Estación TETRA 002 – Conchitas**
 - 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)
Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.
 - 01 Controladora BSC/BCU, Marca: DAMM
 - 02 Antenas Omnidireccionales UHF, Marca: Kathrein
 - 02 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB

Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 02 Antena de Microondas

Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W

- 01 Switch de Interconexión

Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960

- 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías

Marca: APC, Modelo: Symmetra

- 01 Torre Ventada de 15m de altura

- **Estación TETRA 003 - Morro Solar**

- 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)

Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.

- 01 Controladora BSC/BCU

Marca: DAMM

- 02 Antenas Omnidireccionales UHF, Marca: Kathrein

- 04 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB

Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 04 Antena de Microondas

Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W

- 01 Switch de Interconexión

Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960

- 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías

Marca: APC, Modelo: Symmetra

- 01 torre autosportada de 30m de altura

- **Estación TETRA 004 - Santa Cruz**

- 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)

Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.

- 01 Controladora BSC/BCU

Marca: DAMM

- 02 Antenas Omnidireccionales UHF

Marca: Kathrein

- 04 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB

Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 04 Antena de Microondas

Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W

- 01 Switch de Interconexión

Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960

- 01 Router

Marca Cisco, Modelo: 1801

- 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías

Marca: APC, Modelo: Symmetra

- 01 torre ventada de 15m de altura

- **Estación TETRA 005 - Cerro La Molina**

- 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)

Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.

- 01 Controladora BSC/BCU

Marca: DAMM

- 02 Antenas Omnidireccionales UHF

Marca: Kathrein

- 02 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB

Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 02 Antena de Microondas

Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W

- 01 Switch de Interconexión

Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960

- 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías

Marca: APC, Modelo: Symmetra

- 01 Torre Autosportada de 30m de altura

- **Estación TETRA 006 - Centro Cívico**

- 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)

Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.

- 01 Controladora BSC/BCU

Marca: DAMM

- 02 Antenas Omnidireccionales UHF

Marca: Kathrein

- 04 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB

Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 04 Antena de Microondas
Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W
- 01 Switch de Interconexión
Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
- 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías
Marca: APC, Modelo: Symmetra
- 01 torre ventada de 15m de altura
- **Estación TETRA 007 - Cerro La Milla**
 - 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)
Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.
 - 01 Controladora BSC/BCU
Marca: DAMM
 - 02 Antenas Omnidireccionales UHF
Marca: Kathrein
 - 03 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB
Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY
 - 03 Antena de Microondas
Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W
 - 01 Switch de Interconexión
Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
 - 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías
Marca: APC, Modelo: Symmetra
 - 01 torre autosportada de 30m de altura
- **Estación TETRA 008 - Cerro Morado**
 - 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)
Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.
 - 01 Controladora BSC/BCU
Marca: DAMM
 - 02 Antenas Omnidireccionales UHF
Marca: Kathrein
 - 01 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB
Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 01 Antena de Microondas
Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W
- 01 Switch de Interconexión
Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
- 1 UPS de 2KVA, con sistema de baterías
Marca: APC, Modelo: Symmetra
- 01 torre ventada de 15m
- **Estación TETRA 009 – Chillón**
 - 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)
Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.
 - 01 Controladora BSC/BCU
Marca: DAMM
 - 02 Antenas Omnidireccionales UHF
Marca: Kathrein
 - 01 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB
Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY
 - 01 Antena de Microondas
Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W
 - 01 Switch de Interconexión
Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
 - 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías
Marca: APC, Modelo: Symmetra
 - 01 torre ventada de 15m de altura
- **Estación TETRA 010 – El Cuadro**
 - 02 Transceptor Base para radiocomunicación (TRX)
Marca: DAMM, Modelo: μ BTS.
 - 01 Controladora BSC/BCU
Marca: DAMM
 - 02 Antenas Omnidireccionales UHF
Marca: Kathrein
 - 01 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB
Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY

- 01 Antena de Microondas
Marca: Andrews, Modelo: VHLP2-71W
- 01 Switch de Interconexión
Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
- 01 UPS de 2KVA, con sistema de baterías
Marca: APC, Modelo: Symmetra
- 01 torre ventada de 15m de altura
- **Centro de Operaciones de Red (NOC)**
 - 01 Network Management System (NMS)
Marca: Thales, Modelo: Digicom 25
 - 01 Network Management Work Station (NMWS)
Marca: Thales, Modelo: Digicom 25
 - 01 Dispatcher Management System (DMS)
Marca: Thales, Modelo: Digicom 25
 - 01 Dispatcher Work Station (DWS)
Marca: Thales, Modelo: Digicom 25
 - 01 H323 Gateway (H323GW)
Marca: Thales, Modelo: Digicom 25
 - 01 GPS Gateway (GPSGW)
Marca: Thales, Modelo: Digicom 25
 - 01 Servidor SNMP (SNMP)
 - 01 Radio Microondas (IDU+ODU) / 1+1 HSB
Marca: Alcatel - Lucent, Modelo: 9400 AWY
 - 01 Switch de Interconexión, Marca: Cisco, Modelo: Catalyst 2960
 - 01 Router, Marca: Cisco, Modelo: 1801
 - 01 UPS de 4KVA, con sistema de baterías,
Marca APC, Modelo Symmetra
 - 01 torre autosportada de 30m

9.- Servicios Agregados

Dentro de la red propuesta se brindarán servicios agregados a fin de cubrir las necesidades dentro de una situación de emergencia así como los requerimientos adicionales de los usuarios. Entre los servicios agregados tenemos:

a) Localización a través de GPS:

Una característica importante del sistema es que todos los terminales soportan la localización mediante GPS (Sistema de Posicionamiento Global - Global Positioning System). El sistema de localización funciona de la siguiente manera:

- i. El terminal captura su posición a través de un receptor GPS.
- ii. El terminal envía su posición vía mensaje de texto (SMS) hacia el GPS Gateway (GPSGW) ubicado en el NOC utilizando el protocolo LIP³⁰
- iii. El GPSGW decodifica el mensaje de texto capturando los campos Longitud, Latitud, Altura, Velocidad Horizontal y Estado del Terminal.
- iv. Luego de decodificado el mensaje, los campos son insertado en una base de datos.
- v. El sistema GIS (Geographic Information System) toma los campos de la base datos y los muestra gráficamente sobre la cartografía utilizada.

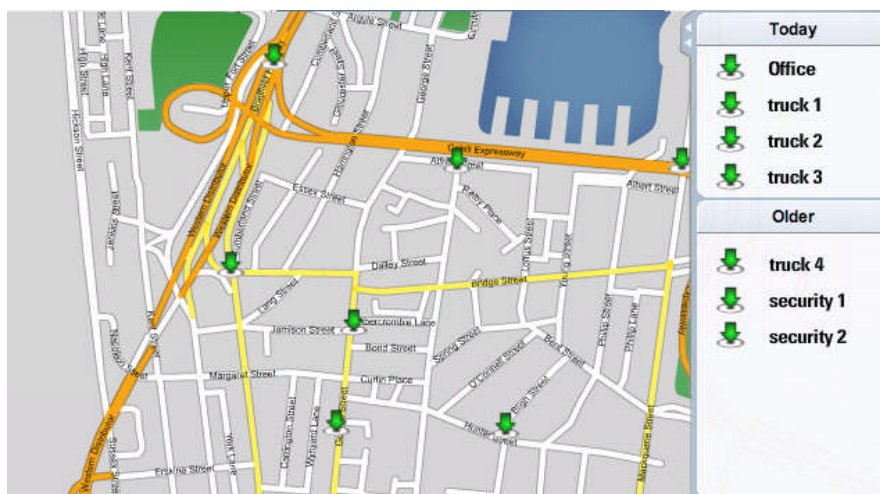


Figura 17 – Ubicación de Terminales sobre GIS ³¹

b) Función de Despachador Integrado:

El sistema posee la característica de tener uno o más Despachadores (DWS), los cuales tiene la posibilidad de comunicarse con uno o mas usuarios, mediante las llamadas grupales o individuales, en modo radio o en modo telefonía dentro o fuera de la red, así mismo tienen la posibilidad de enviar y recibir mensajes de texto.

³⁰ El Protocolo de Información de Localización (Location Information Protocol – LIP) es un estándar de la ETSI el cual permite que usuarios con terminales de distintos fabricantes puedan interoperar, así mismo este protocolo permite que los terminales trabajen con aplicaciones locales.

³¹ Figura tomada de <http://www.zeondigital.com.au>

Los despachadores también pueden monitorear todas las llamadas en curso y de ser necesario anular o unirse a alguna de ellas.

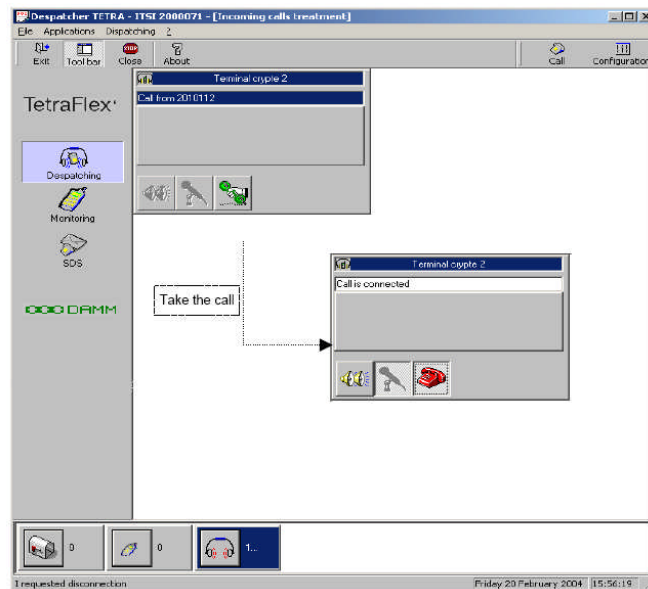


Figura 18 – Ventana de Operación del Despachador

c) Interconexión Telefónica:

El sistema tiene la posibilidad de integrarse a las redes móviles y fijas existentes a fin de poder realizar y recibir llamadas hacia y desde otros operadores. El encargado de estas funciones dentro del sistema es el H323GW que utiliza el protocolo H323 para realizar las llamadas hacia fuera de la red, el sistema así mismo puede ser configurado para conectarse a una PBX ya existente.

d) Sistema de Monitoreo:

Dado que los distintos componentes del sistema cuentan con una dirección IP, se utiliza el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) para monitorear el comportamiento de los elementos de la red y detectar en tiempo real cualquier falla o alarma que genere el sistema. Los niveles de alertas y alarmas pueden ser configurados en distintos niveles o perfiles.

CAPÍTULO V ANÁLISIS ECONÓMICO

1.- Detalle del equipamiento y costos referenciales

En este capítulo se dará un breve análisis económico del sistema, se detallarán los costos referenciales del equipamiento a instalar así como los costos de la infraestructura necesaria y los gastos relacionados con la operación y mantenimiento del sistema. De igual forma se contemplará un plan de inversión para la expansión del sistema en un plazo de 5 años, durante ese plazo se contemplara la compra del equipamiento necesario para ampliar la cobertura y capacidad del sistema.

El detalle del equipamiento ha sido dividido en 12 ítems. Estos ítems son

- i. MAMC SERVER - SISTEMA TETRA PRINCIPAL**
- ii. H323 GATEWAY AND PABX**
- iii. SDS GATEWAY SOFTWARE FOR GPS**
- iv. SNMP SERVER**
- v. RADIO BASE STATION TETRA**
- vi. SISTEMA DE ANTENA PARA BTS**
- vii. EQUIPAMIENTO PARA ENLACES MICROONDAS**
- viii. EQUIPOS DE CONECTIVIDAD**
- ix. SISTEMA DE ENERGIA**
- x. CASETA Y RACKS PARA EQUIPOS**
- xi. CABLEADO**
- xii. TORRES Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA**

A continuación se detalla el equipamiento a utilizar en cada uno de los puntos de la red, así como el costo unitario³² y costo total referencial de los equipos:

³² Todos los precios son solo referenciales y están expresados en dólares americanos (US. \$)

ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	LA QUIPA	COCHITAS	MORRO SOLAR	AHITA CRUZ	LA MOLINA	CENTRO CIVICO	LA MILLA	CERRO MORADO	CHILLOH	EL CUADRO	HOC	CANT	UNIT	V.V. UNIT US \$	V.V. TOTAL US \$	
1	MAMC SERVER - SISTEMA TETRA PRINCIPAL																		
1.01	NMS + DMS	NETWORK MANAGMENT SYSTEM + DISPATCHER MANGMENT SYSTEM CABINET 19" 12U 1U SERVER SCSI HARD DISK ETHERNET SWITCH WINDOWS SERVER SQL SERVER DIGICOM25 CORE NETWORK SOFTWARE DOCUMENTATION INSTALLATION, CONFIGURATION & TESTS	THALES												1	1	Unit	\$ 17,671.30	\$ 17,671.30
1.02	NMWS	NMWS (ADMINISTRATION) PC COMPUTER (DESKTOP CONFIGURATION) 15" FLAT SCREEN OIHM SOFTWARE DONGLE CONFIGURATION TESTS 220V AC POWERED	THALES												1	1	Unit	\$ 4,212.10	\$ 4,212.10
1.03	DWS	DWS - DISPATCHER WORK STATION PC COMPUTER (DESKTOP CONFIGURATION) 15" FLAT SCREEN AUDIO KIT DWS SOFTWARE DONGLE CONFIGURATION TESTS 220V AC POWERED	THALES												1	1	Unit	\$ 5,354.30	\$ 5,354.30
																	\$ 27,237.70		

ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	LA QUIPA	COCHITAS	MORRO SOLAR	AHITA CRUZ	LA MOLINA	CENTRO CIVICO	LA MILLA	CERRO MORADO	CHILLOH	EL CUADRO	NO C	CANT	UNIT	V.V. UNIT US \$	V.V. TOTAL US \$	
2	H323 GATEWAY AND PABX																		
2.01	GTW PABX30	COMPACT PCI COMPUTER 19" 4U cPCI PMC CARRIER CARD cPCI ETHERNET SWITCH CARD PMC E1 INTERFACE CARD H323 DIGICOM25 SOFTWARE DOCUMENTATION INSTALLATION, CONFIGURATION & TESTS	THALES												1	1	Unit	\$ 4,770.00	\$ 4,770.00
		H323 GATEWAY AND PABX																\$ 4,770.00	
3	SDS GATEWAY SOFTWARE FOR GPS																		
3.01	SOFT GTW SDS	SDS DIGICOM25 SOFTWARE APIs FOR LOCAL DEVELOPMENT INSTALLATION CD ROM	THALES												1	1	Unit	\$ 3,153.60	\$ 3,153.60
		SDS GATEWAY SOFTWARE FOR GPS																\$ 3,153.60	
4	SNMP SERVER																		
4.01		SNMP SERVER Integracion de Sistema SNMP (Open NMS) Os	LOCAL												1	1	Unit	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
		SNMP SERVER																\$ 3,000.00	
5	RADIO BASE STATION TETRA																		
5.01	µBTS-2/ETH	µBTS (2 carrier) 2 BS421 BCU CABINET DIGICOM25 RADIO SITE SOFTWARE, In house configuration & Test. 48 VDC Powered/220 VAC Battery Backup, Ethernet Interfaced	DAMM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 42,991.50	\$ 429,915.00	
		RADIO BASE STATION TETRA																\$ 429,915.00	

ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	LA QUIPA	COCHITAS	MORRO SOLAR	AITA CRUZ	LA MOLINA	CENTRO CIVICO	LA MILLA	CERRO MORADO	CHILLOH	EL CUADRO	HO C	CANT	UNIT	V.V. UNIT US \$	V.V. TOTAL US \$
6	SISTEMA DE ANTENA PARA BTS																	
6.01		Omnidirectional Antenna 400 Mhz (Base station/Fixed radio)	KATRAINE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		20	Unit	\$ 588.00	\$ 11,760.00
6.02		Jumper Assembly, N Male/N Male, Superflexible Foam, Factory Assembled (15 feet)	KATRAINE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		20	Unit	\$ 107.80	\$ 2,156.00
6.03		Soporte de Antena para lograr separacion de 5.5 mts	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 150.00	\$ 1,500.00
		SISTEMA DE ANTENA PARA BTS															\$ 15,416.00	
7	EQUIPAMIENTO PARA ENLACES MICROONDAS																	
7.01	9400 AWY	Alcatel-Lucent 9400 AWY Digital Microwave Radio Links IDU + ODU / 1+1 HSB	ALCATEL	1	2	4	4	3	4	4	1	1	1	1	26	Unit	\$ 10,164.70	\$ 264,282.20
7.02	VHLP2-71W	Antena de Microondas (High Performance Low	ANDREW	1	2	4	4	3	4	4	1	1	1	1	26	Unit	\$ 1,434.30	\$ 37,291.80
7.03		Mounting Kit	ANDREW	1	2	4	4	3	4	4	1	1	1	1	26	Unit	\$ 176.50	\$ 4,589.00
		EQUIPAMIENTO PARA ENLACES MICROONDAS															\$ 306,163.00	
8	EQUIPOS DE CONECTIVIDAD																	
8.01		Router Cisco 1801	CISCO				1							1	2	Unit	\$ 1,200.00	\$ 2,400.00
8.02	2960PD-8TT-L	8 Ethernet 10/100 ports and 1 10/100/1000 PoE input	CISCO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 470.00	\$ 4,700.00
8.03	2960G-24TC-L	20 Ethernet 10/100/1000 ports, and 4 dual-purpose	CISCO											1	1	Unit	\$ 900.00	\$ 900.00
		EQUIPOS DE CONECTIVIDAD															\$ 8,000.00	
9	SISTEMA DE ENERGIA																	
9.01	SYH2K6RMT-TF3	UPS APC Symmetra RM 2kVA c/ baterias	APC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 1,200.00	\$ 12,000.00
9.02	SYH4K6RMT-TF3	UPS APC Symmetra RM 4kVA c/ baterias	APC											1	1	Unit	\$ 1,600.00	\$ 1,600.00
9.03		Tablero de control (breaker, borneras, fusibles) de 0.60x1.00 mts	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 350.00	\$ 3,500.00
		SISTEMA DE ENERGIA															\$ 17,100.00	

ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	LA QUIPA	COCHICHITAS	MORRO SOLAR	ANTA CRUZ	LA MOLINA	CENTRO CIVICO	LA MILLA	CERRO MORADO	CHILLOH	EL CUADRO	HOJ	CANT	UNIT	V.V. UNIT US \$	V.V. TOTAL US \$	
10	CASETA Y RACKS PARA EQUIPOS																		
10.01		Caseta para equipos	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 5,750.00	\$ 57,500.00	
10.02		Rack de 19" 1.80 de altura	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 200.00	\$ 2,000.00	
		CASETA Y RACKS PARA EQUIPOS																\$ 59,500.00	
11	CABLEADO																		
11.01		Instalacion de Cableado CAT6 entre BS421	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 70.00	\$ 700.00	
11.02		Instalacion de Cableado de Energia 3x1 BS421	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 70.00	\$ 700.00	
11.03		Kit de Instalacion y Ateramiento Equipos	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		10	Unit	\$ 200.00	\$ 2,000.00	
		CABLEADO																\$ 3,400.00	
		TOTAL EQUIPAMIENTO TETRA																\$ 877,655.30	
12	TORRES Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA																		
12.01		Torre Autosportada Triangular de 30 mts +	LOCAL			1	1	1		1				1	5	Unit	\$ 9,400.00	\$ 47,000.00	
12.02		Torre Ventada de sección triangular de 15 mts	LOCAL	1	1				1		1	1	1		6	Unit	\$ 1,100.00	\$ 6,600.00	
12.03		Sistema de puesta a tierra	LOCAL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	Unit	\$ 700.00	\$ 7,700.00	
		TORRES Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA																\$ 61,300.00	
		TOTAL																\$ 938,955.30	
		IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS																\$ 178,401.51	
		TOTAL INC. IGV																\$ 1,117,356.81	

Tabla 11 – Detalle y costo del Equipamiento

2.- Costo de los terminales

En la red se utilizarán dos tipos de terminales, los terminales portátiles y los terminales móviles, ambos tipos de terminales soportarán la capacidad de localización mediante GPS.

Los terminales portátiles debido a su tamaño y características tienen un precio menor que los terminales móviles. Los terminales móviles están diseñados para la instalación dentro de automóviles y estaciones de control mediante el uso de bases adaptables, éstos terminales poseen un mayor alcance que los terminales portátiles y poseen funcionalidades extra como el poder ser usados como repetidores de los terminales portátiles cuando estos últimos se encuentran en una zona de baja o nula cobertura. Así mismo, ambos tipos de terminales soportan la transmisión de datos y pueden ser utilizados como modems para la conexión a Internet de computadoras portátiles y de escritorio.

Dado que TETRA es un estándar internacional se podrán elegir entre distintos modelos de distintas marcas garantizando la interoperabilidad entre los distintos terminales y los elementos de la red.

El costo de los terminales TETRA es más elevado que los terminales de otros sistemas (GSM, UMTS, CDMA2000, etc) debido a que el mercado al cuál están enfocados es un mercado específico y no un mercado netamente comercial.

A continuación se detallan los costos referenciales de los terminales portátiles y terminales móviles, como se puede observar no se detalla una marca ni modelo en específico, queda a criterio de cada institución que utilice la red la compra de los modelos de acuerdo a las necesidades específicas. Se plantea la compra inicial de 400 terminales portátiles y 200 terminales móviles.

ITEM	MODELO	DESCRIPCION	MARCA	CANT	UNIT	V.V. UNIT US \$	V.V. TOTAL US \$
		EQUIPAMIENTO					
1	RADIOS PORTATILES c/GPS						
1.01		Radio portatil, Portable subscriber 380-430 MHz		400	400	Unit \$ 318.00	\$ 127,200.00
1.02		Battery Li ion		400	400	Unit \$ 36.90	\$ 14,760.00
1.03		Belt Clip 2"		400	400	Unit \$ 2.10	\$ 840.00
1.04		Antenna UHF stubby combined w/GPS		400	400	Unit \$ 13.50	\$ 5,400.00
1.05		Standard travel charger		400	400	Unit \$ 10.50	\$ 4,200.00
1.06		GPS Option		400	400	Unit \$ 135.50	\$ 54,200.00
		RADIOS PORTATILES c/GPS				\$ 206,600.00	
3	RADIOS MÓVILES c/GPS						
3.01		Radio Móvil 380-430 MHz		200	200	Unit \$ 745.10	\$ 149,020.00
3.02		COMP FIST MIC GCAI		200	200	Unit \$ 30.10	\$ 6,020.00
3.03		Tetra/GPS Antenna 380-430MHz		200	200	Unit \$ 118.20	\$ 23,640.00
3.04		Speaker, 13W		200	200	Unit \$ 24.50	\$ 4,900.00
3.05		GPS Option		200	200	Unit \$ 135.50	\$ 27,100.00
		RADIOS MÓVILES c/GPS				\$ 210,680.00	
		TOTAL				\$ 417,280.00	
		IMPUESTO GENERAL A LAS VENTAS				\$ 79,283.20	
		TOTAL INC. IGV				\$ 496,563.20	

Tabla 12 – Costos de los terminales

3.- Gastos de Operación y Mantenimiento

A continuación se da un breve análisis de los gastos incurridos en la operación y mantenimiento (OyM) del sistema.

Para la operación y mantenimiento se esta considerando la contratación del personal necesario para esta actividad, dentro del personal se considera un ingeniero supervisor, 4 ingenieros y 4 técnicos. Se debe tener cuenta que al ser un sistema de emergencia, el Centro de Operaciones de Red (NOC) debe tener personal capacitado las 24 horas del día los 7 días de la semana.

Dentro de este mismo rubro se consideran los gastos en cuanto al mantenimiento de todos los equipos y sistemas, se esta tomando en cuenta que se realizará un mantenimiento anual a todos los sistemas de la red, así mismo se considera los gastos incurridos en el alquiler de los sitios para las estaciones y la energía comercial consumida por las estaciones. Cabe señalar que se tiene la posibilidad de la co-ubicación³³ de las estaciones con empresas operadoras a fin de reducir los costos en cuanto a construcción de torres y sistemas de puesta a tierra, así como en el alquiler de los sitios para las estaciones. A continuación se presentan los gastos en OyM.

Personal	Cant	Sueldo	Total Sueldos
Ingeniero Supervisor	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
Ingeniero	4	\$ 1,500.00	\$ 6,000.00
Técnico	4	\$ 800.00	\$ 3,200.00
Sub Total Personal			\$ 11,700.00

Fijos	Cant	Costo Unitario	Costo Mensual
Mantenimiento	11	\$ 500.00	\$ 458.33
Alquiler de Sites + energia	10	\$ 700.00	\$ 7,000.00
Gastos varios	1	\$ 1,000.00	\$ 1,000.00
Sub Fijos			\$ 8,458.33

Total Egresos		\$	20,158.33
Total Anual		\$	241,900.00

Tabla 13 – Gastos en Operación y Mantenimiento

³³ Los presentes costos han sido calculados sin tomar en cuenta la co-ubicación.

4.- Plan de inversión

Para el desarrollo del proyecto se ha contemplado un plan de inversión que abarca **5 años**. Durante estos 5 años se proyecta la compra del equipamiento, la instalación y puesta en marcha del sistema; así como la compra progresiva de terminales y la compra adicional de componentes del sistema para brindar mayor cobertura y mayor capacidad.

En el plan de inversión se plantea que en el primer año (año en que se inician las operaciones) se adquiera el equipamiento total de los elementos del core así como la compra del equipamiento necesario para el funcionamiento de las 10 estaciones detalladas en el **capítulo IV**. La compra del equipamiento del primer año está proyectada bajo el criterio de escalabilidad para soportar el crecimiento de nuevas estaciones y una mayor cantidad de terminales en la red sin necesidad de cambiar los elementos del core. La inversión del primer año representa el **47.12%** de la inversión total.

Durante el segundo año se invertirá en la compra del equipamiento necesario para la instalación de 3 nuevas estaciones a fin de cubrir algún hueco de cobertura que pueda existir en la red así como la ampliación de la cobertura hacia las zonas periféricas de la capital. Así mismo se tiene proyectado la compra de 400 nuevos terminales.

Para el tercer año se tienen proyectado la compra de 3 nuevas estaciones para ampliar la capacidad del sistema, estas estaciones serán instaladas en los sites que mayor tráfico han cursado. De igual forma se contempla la compra de 200 terminales adicionales.

Para el cuarto año no se tienen proyectado la compra de nuevas estaciones pues en este punto el equipamiento instalado tendrá la capacidad requerida para brindar servicios a los terminales existentes así como nuevos terminales. En este año se tiene previsto la compra de 200 terminales adicionales. En cuanto al quinto año solo se han proyectado gastos en cuanto a la operación y mantenimiento del sistema.

A continuación se detalla el Plan de Inversión de los 5 años.

PLAN DE INVERSIÓN

I. INVERSIÓN DURANTE EL PRIMER AÑO:

Nº	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	MAMC SERVER - SISTEMA TETRA PRINCIPAL	1	\$ 27,237.70	\$ 27,237.70
2	H323 GATEWAY AND PABX	1	\$ 4,770.00	\$ 4,770.00
3	SDS GATEWAY SOFTWARE FOR GPS	1	\$ 3,153.60	\$ 3,153.60
4	SNMP SERVER	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
5	µBTS (2 carrier) 2 BS421 BCU CABINET DIGICOM25 RADIO SITE SOFTWARE, In house configuration & Test. 48 VDC Powered/220 VAC Battery Backup, Ethernet Interfaced	10	\$ 42,991.50	\$ 429,915.00
6	SISTEMA DE ANTENA PARA BTS	20	\$ 770.80	\$ 15,416.00
7	EQUIPAMIENTO PARA ENLACES MICROONDAS	26	\$ 11,775.50	\$ 306,163.00
8	EQUIPOS DE CONECTIVIDAD	10	\$ 800.00	\$ 8,000.00
9	SISTEMA DE ENERGIA	11	\$ 1,554.55	\$ 17,100.00
10	CASETA Y RACKS PARA EQUIPOS	10	\$ 5,950.00	\$ 59,500.00
11	CABLEADO	10	\$ 340.00	\$ 3,400.00
12	TORRES Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	11	\$ 5,572.73	\$ 61,300.00
13	PAGO DE IGV. DEL EQUIPAMIENTO	1	\$ 178,401.51	\$ 178,401.51
14	GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL	1	\$ 241,900.00	\$ 241,900.00
15	COMPRA DE TERMINALES MOVILES Y PORTATILES	600	\$ 827.61	\$ 496,563.20
	SUB TOTAL			\$ 1,855,820.01

II. INVERSIÓN DURANTE EL SEGUNDO AÑO:

Nº	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	µBTS (2 carrier) 2 BS421 BCU CABINET DIGICOM25 RADIO SITE SOFTWARE, In house configuration & Test. 48 VDC Powered/220 VAC Battery Backup, Ethernet Interfaced	3	\$ 42,991.50	\$ 128,974.50
2	SISTEMA DE ANTENA PARA BTS	6	\$ 770.80	\$ 4,624.80
3	EQUIPAMIENTO PARA ENLACES MICROONDAS	6	\$ 11,775.50	\$ 70,653.00
4	EQUIPOS DE CONECTIVIDAD	3	\$ 470.00	\$ 1,410.00
5	SISTEMA DE ENERGIA	3	\$ 1,554.55	\$ 4,663.64
6	CASETA Y RACKS PARA EQUIPOS	3	\$ 5,950.00	\$ 17,850.00
7	CABLEADO	3	\$ 340.00	\$ 1,020.00
8	TORRES Y SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	3	\$ 5,572.73	\$ 16,718.18
9	PAGO DE IGV. DEL EQUIPAMIENTO	1	\$ 46,723.68	\$ 46,723.68
10	GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL	1	\$ 241,900.00	\$ 241,900.00

11	COMPRA DE TERMINALES MOVILES Y PORTATILES	400	\$ 827.61	\$ 331,042.13
	SUB TOTAL			\$ 865,579.93

III. INVERSIÓN DURANTE EL TERCER AÑO:

Nº	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	µBTS (2 carrier) 2 BS421 BCU CABINET DIGICOM25 RADIO SITE SOFTWARE, In house configuration & Test. 48 VDC Powered/220 VAC Battery Backup, Ethernet Interfaced	3	\$ 42,991.50	\$ 128,974.50
2	SISTEMA DE ANTENA PARA BTS	6	\$ 770.80	\$ 4,624.80
3	CABLEADO	3	\$ 340.00	\$ 1,020.00
4	PAGO DE IGV. DEL EQUIPAMIENTO	1	\$ 25,577.67	\$ 25,577.67
5	GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL	1	\$ 241,900.00	\$ 241,900.00
6	COMPRA DE TERMINALES MOVILES Y PORTATILES	200	\$ 827.61	\$ 165,521.07
	SUB TOTAL			\$ 567,618.03

IV. INVERSIÓN DURANTE EL CUARTO AÑO:

Nº	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	COMPRA DE TERMINALES MOVILES Y PORTATILES	200	\$ 827.61	\$ 165,521.07
2	GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL	1	\$ 241,900.00	\$ 241,900.00
	SUB TOTAL			\$ 407,421.07

V. INVERSIÓN DURANTE EL QUINTO AÑO:

Nº	EQUIPAMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUAL	1	\$ 241,900.00	\$ 241,900.00
	SUB TOTAL			\$ 241,900.00

VI. RESUMEN DE INVERSIÓN A CINCO AÑOS

AÑOS	INVERSIÓN ANUAL	Porcentaje
1	\$ 1,855,820.01	47.12%
2	\$ 865,579.93	21.98%
3	\$ 567,618.03	14.41%
4	\$ 407,421.07	10.34%
5	\$ 241,900.00	6.14%
TOTAL	\$ 3,938,339.04	100.00%

Tabla 14 – Plan de Inversión a cinco años

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- Conclusiones

Luego de haber desarrollado los diversos capítulos del presente trabajo podemos resaltar una serie de conclusiones en cuanto a la situación actual de las comunicaciones de emergencia en el país, se desglosan igualmente algunas conclusiones respecto a la tecnología TETRA en comparación con otras tecnologías celulares; así mismo, se pueden resaltar conclusiones respecto a la característica del proyecto planteado.

En cuanto a las conclusiones del presente trabajo tenemos:

- i. En la actualidad existen 3 empresas operadores que brinda el servicio de comunicaciones móviles y 1 empresa operadora que brinda el servicios de telefonía fija con el 79.77% del mercado (empresa predominante en el rubro). Sin embargo, estas empresas operadoras están orientadas a un segmento comercial por lo que las tecnologías utilizadas están destinadas al servicio masivo y la comunicación **persona-persona**, ninguna de estas empresas brinda el **servicio de comunicación en grupos. Las tecnologías utilizadas por estas empresas no están orientas a las comunicaciones de seguridad ciudadana y comunicaciones de emergencia.**
- ii. A raíz del sismo del 15 de agosto del 2007 quedó comprobado que estas empresas operadoras no contaban con la infraestructura necesaria para brindar servicio durante momentos de emergencia y así mismo no se contaba con un sistema que garantice la comunicación entre los organismos involucrados en la contención de emergencias, por extensión de esta necesidad se creo la **Red Especial de Comunicaciones en Situaciones de Emergencia (RECSE)**; sin embargo, por definición dicha red se basa en **la reserva de canales** de las empresas operadoras y **no define en su estructura la creación de una red destinada para estos propósitos, por lo que actualmente sigue la necesidad**

de contar con una red destinada exclusivamente a las actividades de seguridad ciudadana y las comunicaciones en caso de emergencia.

- iii. La tecnología TETRA al ser un estándar de radiocomunicaciones de voz y datos elaborado por la ETSI basado en un sistema de canales múltiples de selección automática (Troncalizado) digital, **está orientada a satisfacer las necesidades de comunicación de equipos de seguridad (Policía, Bomberos, Defensa Civil, etc.) así como comunicaciones de emergencias y cuenta funcionalidades diseñadas para estos propósitos en contraposición a las funcionalidades brindadas por las redes públicas comunes (GSM, CDMA, UMTS, etc.)**, así mismo es un sistema de estándar abierto, por lo que posee una única normatividad y varios fabricantes para los componentes del sistema (equipamiento y terminales).
- iv. La red planteada al trabajar en bajas frecuencias (380Mhz-400Mhz) posee una **amplia distancia de propagación de la señal** lo que disminuye el número de estaciones desplegadas en un área geográfica determinada, disminuyendo de esta forma costos de instalación y mantenimiento. Los cálculos de coberturas de las estaciones se muestran en el **Capítulo IV, Sección 5**.
- v. La capacidad de cada una de la estaciones se ha desarrollado tomando en cuenta la **cantidad de grupos** que existirán el sistema, el número de terminales totales en la red es indiferente para el cálculo de conversaciones de radio (semi-duplex) ya que cada uno de los terminales pertenecerá a al menos un grupo. De acuerdo al cálculo de tráfico realizado en el **Capítulo IV, Sección 7**, la capacidad inicial del sistema permitirá la comunicación de todos los grupos propuestos así como una cantidad definida de llamadas de telefonía (full-duplex) dentro o fuera de la red, del cálculo desarrollado se extiende que la capacidad instalada **permitirá el crecimiento de hasta el 50% del número de grupos para conversaciones de radio sin necesidad de aumentar componentes al sistema.**

2.- Recomendaciones y observaciones

A continuación se detallan algunas observaciones y comentarios sobre el proyecto planteado:

- i. El equipamiento propuesto para la red en todos sus niveles (acceso, transporte y core) está diseñado para **soportar el protocolo IP**, es decir, una característica del sistema propuesto es que todas las estaciones contarán con una dirección IP para su identificación, así mismos todos los componentes del core contarán con una dirección IP de esta forma se aprovecha las ventajas que brinda este protocolo. Cabe recordar que el protocolo IP es el más utilizado en las comunicaciones de datos hoy en día y en consecuencia nos permite el despliegue rápido de nuevas estaciones cuando sean necesarias. Por citar un ejemplo se podrá desplegar rápidamente una nueva estación fuera del área de cobertura del sistema al momento de ocurrir una emergencia siendo necesario solamente un enlace hacia el NOC, este enlace podrá ser un enlace VPN, satelital, Wi-fi extendido, Wimax, etc; se podrá utilizar cualquiera de estas tecnologías gracias al soporte del protocolo IP.
- ii. La estructura administrativa propuesta para el presente proyecto es la creación de un **Organismo Público Descentralizado (OPD)**³⁴, el cuál se encargará de **las funciones de administración, operación y mantenimiento del sistema**; así como de las funciones de planeamiento para el crecimiento de cobertura y capacidad de la red. Cada institución adscrita a la red designará personal de la institución para la coordinación con la administración central de la red. **(Ver Anexo III)**
- iii. La red planteada al pertenecer a un organismo del Poder Ejecutivo se encuentra exonerada de los pagos por concepto de concesión para la prestación de servicio y derechos de canon por uso del espectro radioeléctrico³⁵, de igual forma la red al no estar destinada a una explotación comercial de encuentra exonerada del pago de ésta tasa.

³⁴ Persona jurídica de derecho público que ejerce competencias sectoriales con los grados de autonomía que le confiere la ley. (Ley N° 26922, Ley Marco de Descentralización, Artículo 2°, publicada el 03 de febrero de 1998)

³⁵ De acuerdo al Artículo 239°, Título IX del Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de la Telecomunicaciones - DS N° 027-2004-MTC.

- iv. Respecto a los terminales utilizados en la red se propone la compra de un lote inicial de equipamiento así como la compra sucesiva anual de nuevos terminales; dado que la capacidad del sistema está en función del número de grupos y no en el número de terminales (tomando en cuenta la restricción para llamadas de telefonía) cada institución adscrita a la presente red podrá adquirir un determinado número de equipos para uso propio en coordinación con el Organismo Central de Administración de la Red.
- v. Una característica importante del sistema que una estación en particular al perder conexión con el NOC, podrá seguir operando e interactuando con otras estaciones gracias que cada estación guarda una copia de la base de datos de los terminales activos del sistema, la cual es actualizada periódicamente; por lo que la pérdida de conexión solo originará que algún terminal que no estaba activo al momento antes de la pérdida del enlace no podrá activarse si se encuentra dentro del área de cobertura de dicha estación, para el resto de terminales será transparente la caída del enlace.

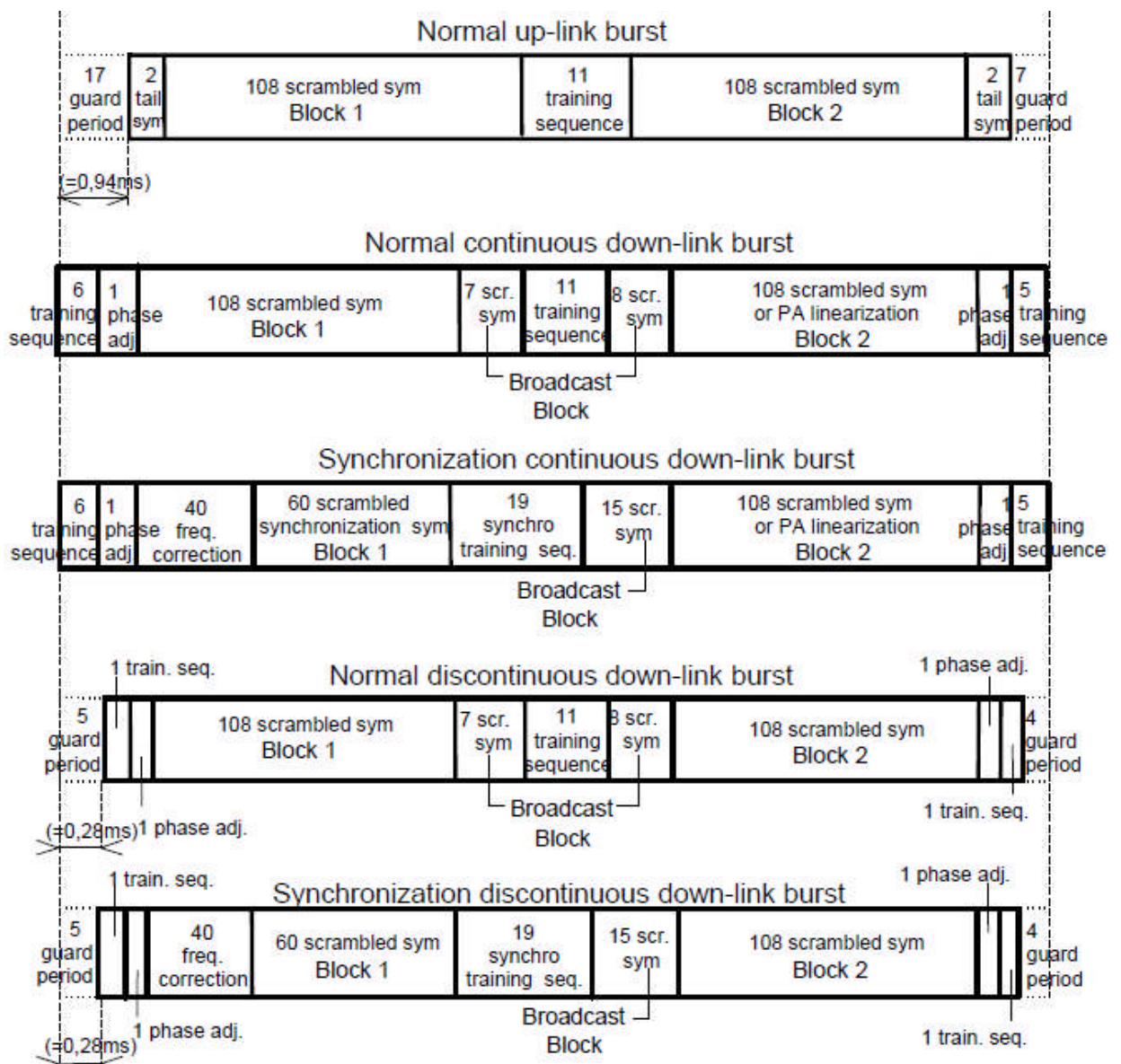
ANEXO A

RÁFAGAS EN TETRA

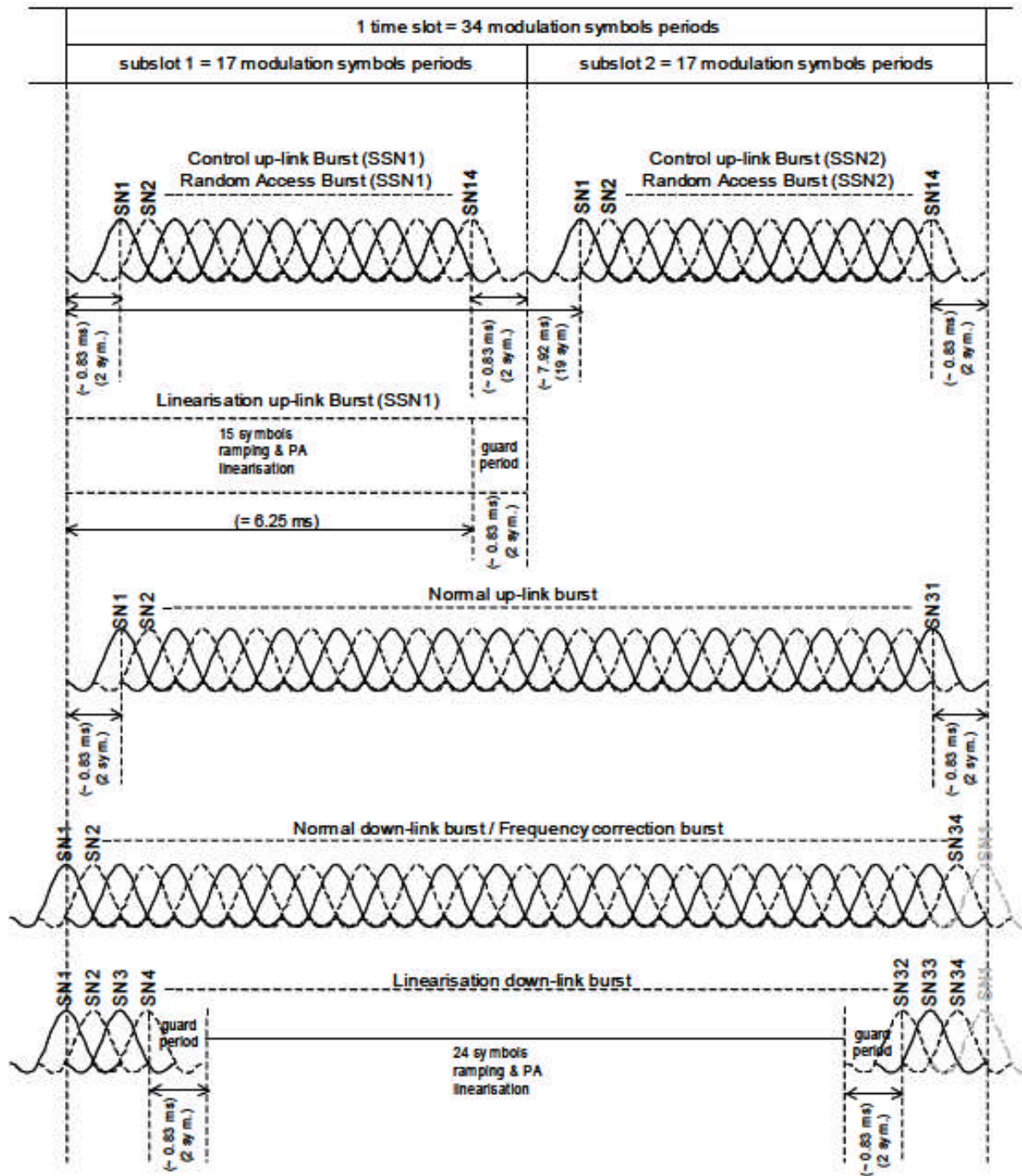
ANEXO A

RÁFAGAS EN TETRA

- Ráfagas para la modulación de fase



- Ráfagas para la modulación QAM



ANEXO B

SEÑALIZACIÓN E INICIO DE COMUNICACIÓN ENTRE DOS TERMINAL

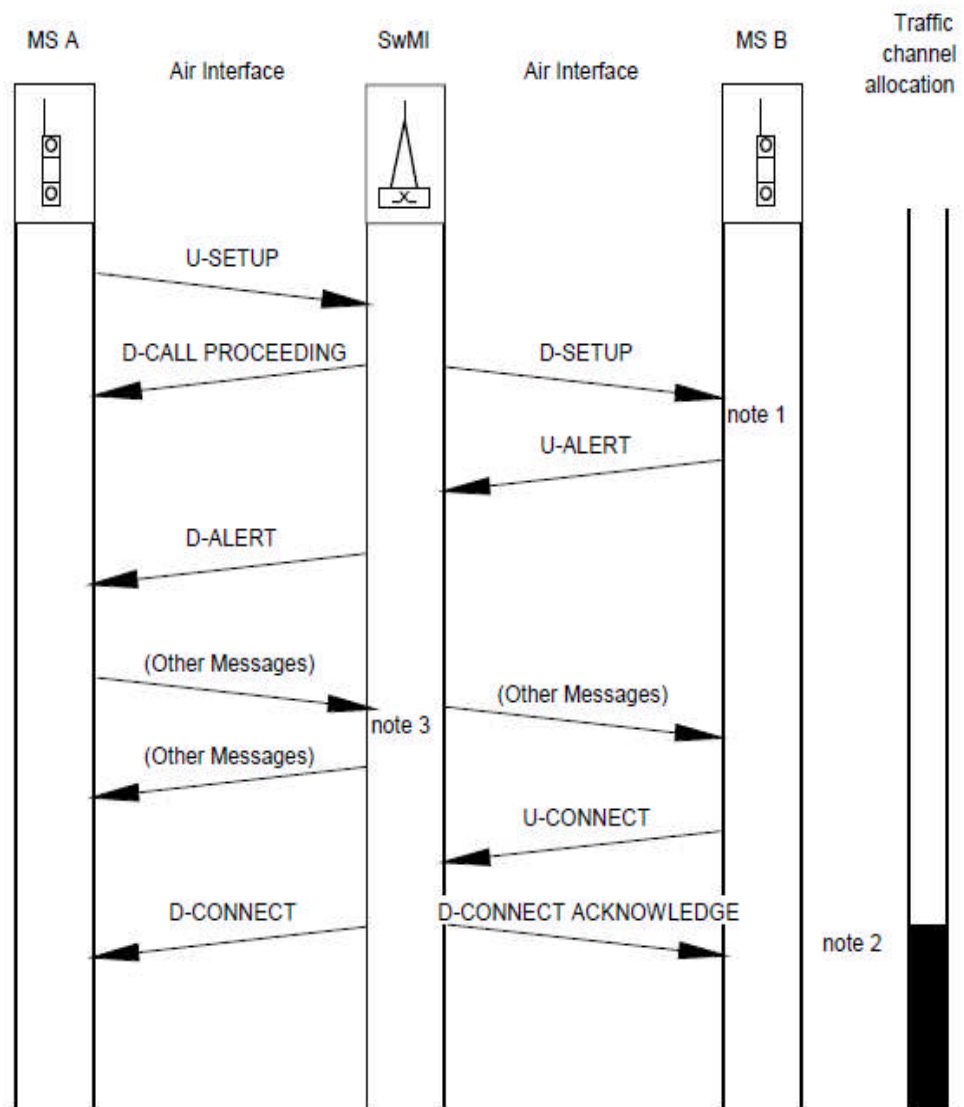
ANEXO B

SEÑALIZACIÓN E INICIO DE COMUNICACIÓN ENTRE DOS TERMINAL

Para el establecimiento de una llamada de radio (unidireccional) se requiere de una señalización previa. El proceso de establecimiento de llamada se indica a continuación:

- a. El terminal que desea comunicarse envía una petición al SwMI (elementos del core), el mensaje enviado es <U-Setup>.
- b. El SwMI recibirá esta petición y devolverá un mensaje al terminal solicitante, el mensaje es <D-CALL PROCEEDING> para indicar que su solicitud esta siendo procesada.
- c. El SwMI envía el mensaje <D-SETUP> al terminal de destino, el terminal de destino responde al SwMI con el mensaje <U-ALERT> para indicar que el proceso de alerta ha iniciado.
- d. Una vez recibido el mensaje <U-ALERT> por el SwMI, éste envía el mensaje <D-ALERT> al terminal solicitante para indicarle que el terminal de destino se encuentra listo para iniciar la negociación.
- e. En este momento se envían distintos mensajes de señalización entre los terminales hasta el terminal de destino envía al SwMI el mensaje <U-CONNECT>, yo el SwMI envía al terminal solicitante el mensaje <D-CONNECT> para indicarle que el destino se encuentra listo para inicia la comunicación
- f. Por último el SwMI envía el mensaje <D-CONNECT ACKNOWLEDGE> al terminal de destino para que el terminal empiece a escuchar en el canal de control por el inicio de la comunicación.

De forma gráfica el proceso de señalización es:



NOTE 1: The indication of on/off hook signalling is indicated in the D-SETUP message.

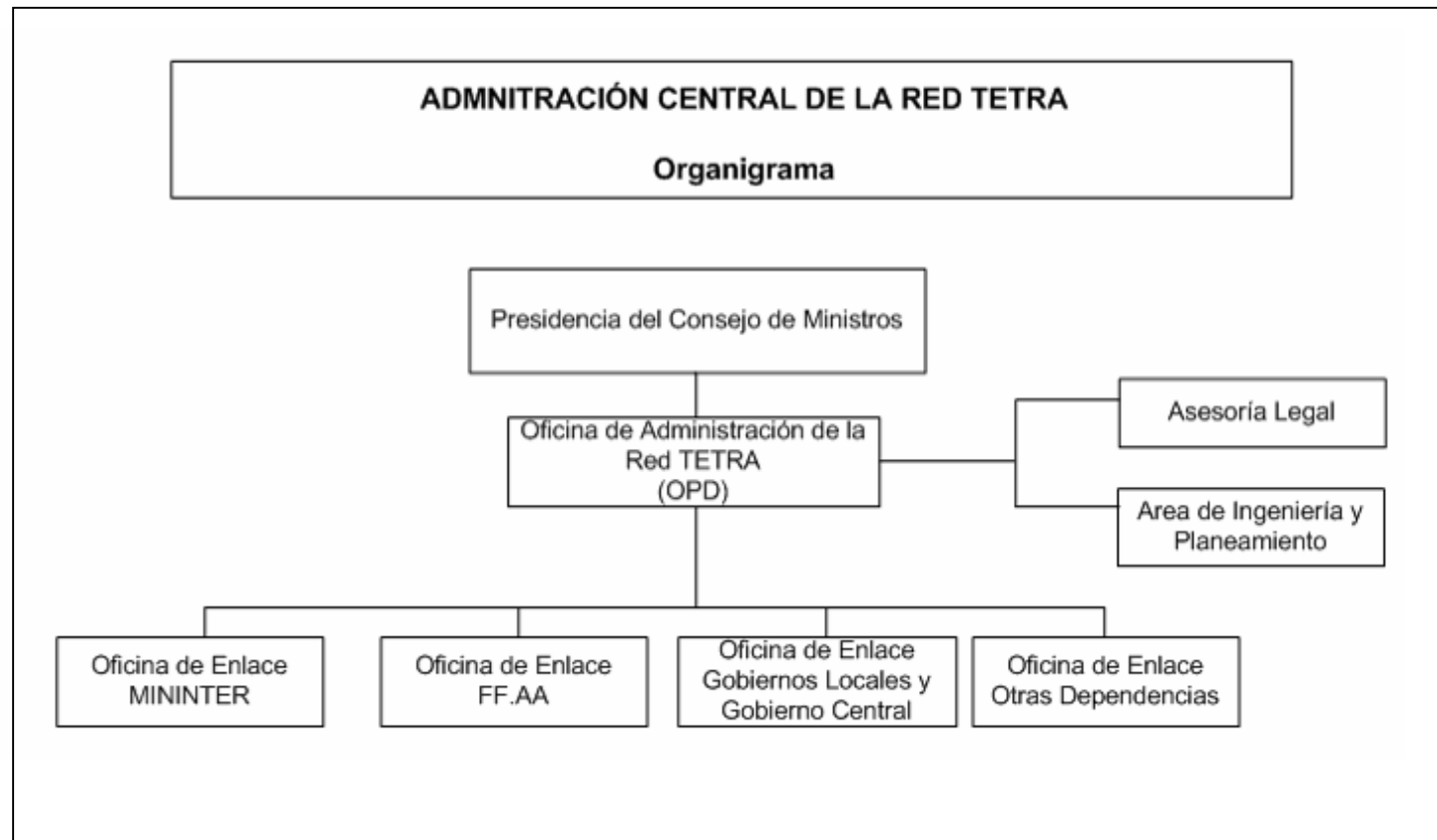
NOTE 2: Late assignment, i.e. the traffic channel is allocated when the called user has answered.

NOTE 3: Example of other signalling.

ANEXO C

ORGANIGRAMA PROPUESTO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA RED

ANEXO C
ORGANIGRAMA PROPUESTO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA RED



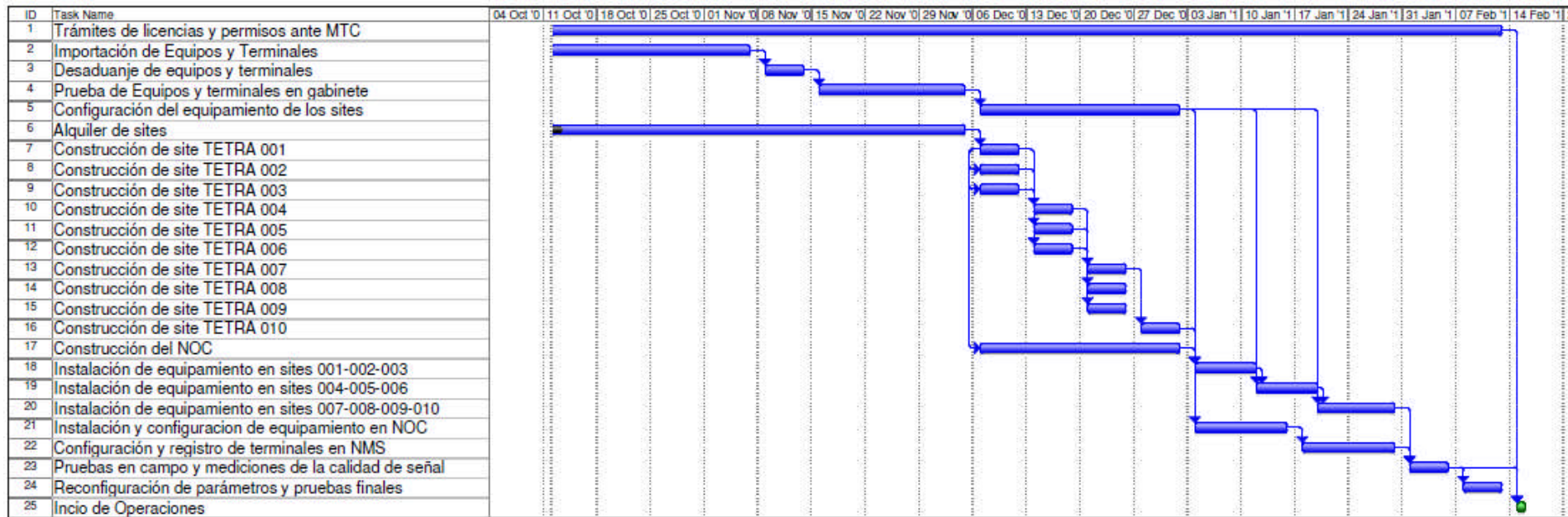
ANEXO D

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

ANEXO D

CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

Para la implementación de la red propuesta se ha elaborado el siguiente cronograma de trabajo en el cual se indican todos trabajos a realizar desde la solicitud de permisos y licencias ante el MTC, las pruebas, configuración e instalación de los equipos hasta el inicio de operaciones. El tiempo de implementación de la red es de 90 días útiles (4 meses).



ANEXO E

HOJA DE DATOS DEL EQUIPAMIENTO PROPUESTO

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Martin Sauter, Communication Systems for the Mobile Information Society
John Wiley & Sons

- [2] Friedhelm Hillebrand, GSM and UMTS The Creation of Global Mobile Communication
John Wiley & Sons

- [3] TETRA Association
<http://www.tetramou.com>

- [4] Estándar ETSI EN 300 392-1 v1.4.1 (2009-01), Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 1: General network design

- [5] Estándar ETSI EN 300 392-2 v3.2.1 (2007-09), Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Part 2: Air Interface (AI)

- [6] G. Masferrer y R. Figueres, Introducción al Sistema TETRA

- [7] José Maria Hernando Rábanos, Comunicaciones Móviles
Editorial Centro de Estudios Ramón Areces

- [8] Guillermo Fornaresio, SERVICIOS AVANZADOS CON CDMA2000 1X & EVDO Rev A
Centro de Excelencia - Región América – UIT

- [9] Página Web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Perú
<http://www.mtc.gob.pe>

- [10] Página Web del Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones
<http://www.osiptel.gob.pe>

- [11] iDEN System Overview and Functional Description
Motorola
- [12] iDEN Technical Overview Notes On The iDEN System
Motorola
- [13] Recomendación UIT G.826
Unión Internacional de Telecomunicaciones